Sommaires des projets de l'Initiative de recherche sur les substances toxiques

5-8 mars 2002

Crowne Plaza Ottawa

Canada

103-00545/

Initiative de recherche sur les substances toxiques

Sommaires des projets de l'Initiative de recherche sur les substances toxiques

Addendum au programme
Conférence nationale de l'Initiative de recherche sur les substances toxiques
5 - 8 mars 2002
Crowne Plaza Ottawa

Table de matières

Préface 11

Polluants organiques persistants 13

Incidence des polybromodiphényléthers sur l'environnement et la santé au Canada 17
Mehran Alaee, Nigel Bunce, Michael Ikonomou, Michel Lebeuf, Chris Metcalf, Derek Muir, Jake Ryan, Dave Sergeant, Keith Solomon, Bryan Wakeford, Mike Whittle

Effets sur la reproduction et le développement d'un mélange organochloré pertinent du point de vue de l'environnement 18
Pierre Ayotte, Janice L. Bailey

Sources des produits agrochimiques dans l'atmosphère et diffusion dans l'environnement canadien 19
Terry Bidleman, Thomas Harner, Brian Ripley, Trevor Scholz, Sunny Szeto, Derek Muir, Don Waite, John Struger, William Strachan, Laurens Van Vliet, Jeffrey Ridal

Mécanisme par lequel l'hexachlorobenzène favorise le développement sexospécifique de tumeurs chez le rat 20
Michel Charbonneau, Ph.D., Daniel G. Cyr, Ph.D.

Neurotoxicité pour le développement de mélanges de polluants organiques persistants présents dans l'environnement 21
Ih Chu, Wayne Bowers, Jamie Nakai, Olga Pulido, Santokh Gill, David Moir

Effets du DDT sur la fonction reproductrice des hommes au Chiapas (Mexique) 23
Eric Dewailly, Pierre Ayotte, François R. Rousseau, Janice L. Bailey, Tiaan de Jager, Paulina Farias S., Mauricio Hernandez Avila

Accumulation de contaminants organochlorés chez le Balbuzard pêcheur 24
John Elliot

Effets des pesticides d'origine agricole sur la physiologie des amphibiens 25
Fournier Michel, Brousseau Pauline, Cyr Daniel, Marcogliese David, Ruby Sylvia

Le toxaphène dans l'écosystème marin du Saint-Laurent : état de la contamination, écotoxicologie et santé humaine 27
J.-P. Gagné, C. M. Couillard, D. Girard, B. Gouteux, M. Lebeuf, C. J. Roberge, G. Stern

Bioaccumulation des autres pesticides dans la chaîne alimentaire aquatique 29
Frank A.P.C. Gobas, Cheryl E. Mackintosh, Glenys Webster, Michael Ikonomou

Présence, devenir et effets des surfactants fluorés dans l'environnement canadien 30
Scott Mabury, Derek Muir, Brian Scott, Keith Solomon

Modélisation de l'utilisation durable des produits chimiques organiques dans un environnement continental sain 32
Donald Mackay, Matthew MacLeod, Dave Woodfine, Jenn Brimacombe, Liisa Toose, Merike Perem, Eva Webster, Todd Gouin

Suivi d'enfants d'âge préscolaire exposés aux PCB et au MeHg par la consommation de poisson 34
Gina Muckle, Eric Dewailly, Pierre Ayotte, Celyne H. Bastien, Anne Beuter, Marie-Sylvie Roy, Annie Veilleux

Sources, transport à grande distance et incidences du PBP nouveaux et anciens d'après les sédiments et les eaux lacustres 35
Derek Muir, Brian Scott, Christine Spencer, Camilla Teixeira, Fan Yang, Xiaowa Wang, Marianne Douglas, Reinhard Pienitz, John Smol, Warwick Vincent, Frank Wania

Bioamplification des polluants organiques persistants et du mercure dans les poissons des pêches de subsistance et les réseaux trophiques d'eau douce au Canada 37
D.C.G. Muir, X. Wang, K.G. Drouillard, G.D. Haffner, M.S. Evans, K.A. Kidd, M.R. Anderson, J.F. Payne, W.L. Fairchild, S.J. Guildford, D.M. Whittle

Effets sur la reproduction et le développement de l'exposition in utero aux PBP 38
B Robaire, J Brawer, G Cooke, D.Cyr, B Hales, L Hermo, C. Morales, J. Trasler

Effets perturbateurs sur la fonction endocrinienne de polluants organiques persistants chez des orques du Pacifique en liberté 41
Peter S. Ross

Évaluation des effets possibles de l'exposition à des contaminants sur les appareils endocrinien et reproducteur du béluga (DELPHINAPTERUS LEUCAS) et de l'ours blanc (URSUS MARITIMUS) 42
Sang Susan, Michael Kwan, Muir Derek, Daniel Leclair, Mikaelian Igor

Effets neurotoxiques chez une communauté autochtone exposée aux PCB 43
Harold Schwartz

Effets d'agents de stress multiples sur les amphibiens indigènes 45
Dean Thompson, Barbara Wojtaszek, Andrea Edginton, Celia Chen, Gerry Stephenson, Herman Boermans, Brendan Hickie

Développement et mise à l'essai d'une méthode d'échantillonnage passif des polluants organiques persistants 48
F. Wania, Y.D. Lei, L. Shen, D. Muir, C. Teixeira

Métaux 47

Incidences des polybromodiphényléthers sur l'environnement et la santé au Canada 51
Mehran Alaee, Nigel Bunce, Michael Ikonomou, Michel Lebeuf, Chris Metcalf, Derek Muir, Jake Ryan, Dave Sergeant, Keith Solomon, Bryan Wakeford, Mike Whittle

Étude de l'évolution physique et chimique des aérosols dans les panaches d'émissions de fonderie et de centrale thermique 51
Catharine Banic, Sam Daggupaty, W. Richard Leaitch, Henry Wong, Iain Campbell, Zdenek Nejedly, Jim Skeaff, Dogan Paktunc, Kevin Strawbridge, Clément Ganepy, Amares Chatt, Marc Lamoureux, J. Ian MacPherson, Hélène Gaonac'h, Diane Michelangeli

Effets des sédiments sur la quantité de métaux accumulée par les bivalves 53
Leah Bendell-Young, Margo M. Moore, Daryl Crozier, A. Jurgensen, J. King

Les effets du mercure sur le statut oxydatif et les fonctions neurométrices 54
Éric Dewailly, Anne Beuter, Michel Plante, Pierre Ayotte, Marc Édouard Mirault, Daniel Lamoureux, Suzanne Bruneau, Minnie Grey, Jean-Philippe Weber

Mécanisme de la néphrotoxicité du cadmium et du plomb dans les reins en développement ou adultes 55
Sudhir D'Souza

Rôle des minéraux argileux (oxydes de fer) dans la sorption des métaux-traces en milieu aquatique 58
D. Fortin, F.G. Ferris, G. Leppard

Immunotoxicité des métaux 58
J. Bernier, M. Fournier, E. Kouassi

Solubilité et spéciation des métaux-traces dans les sols de l'est canadien 59
William H. Hendershot, François Courchesne Les Evans

Évaluation chimique et écotoxicologique des effets de l'élimination des résidus en milieu marin 60
Thomas Hynes, M. Robin Anderson, Jerry Payne, Paul Sylvester

Importance de la spéciation de l'arsenic pour exprimer la toxicité de cet élément dans les organismes aquatiques : implications pour les recommandations pour la qualité des eaux au Canada 61
K. Liber, J.M. Culp, R. Kerrich

Mise en évidence du rôle de la grenaille de plomb, principale source d'exposition au plomb des communautés autochtones 63
E. Nieboer, L.J.S. Tsuji, B.C. Wainman, J-Philippe Weber

Transport des métaux provenant des réservoirs de résidus miniers et libération dans les eaux de surface 64
C.J. Ptacek, D.W. Blowes

Biodisponibilité de l'arsenic à Yellowknife 65
Kenneth Reimer, William Cullen, Heather Jamieson

Cycle du mercure dans le Parc national Kejimkujik 66
Andrew Rencz

Effet toxique du plomb sur la faune 68
Scheuhammer, A., Campbell, D., Martin, P., Thomas, V., Wickstrom, M.

Émissions naturelles de mercure dans l'environnement canadien 69
Schroeder Bill, Edwards Grant, Rasmussen Pat, Beauchamp Steve, Poissant Laurier

Mercure dans les bassins versants forestiers après des feux de forêt ou des coupes 71
William M. J. Strachan, Ellie E. Prepas, Weiping C. Chen, Ian D. Campbell, Stephan Gabos

Validation du gradient de diffusion de la technique à couches minces pour l'évaluation de la biodisponibilité du cadmium et du plomb dans l'environnement aquatique 73
Michael Twiss, André Tessier, Lise Rancourt, Richard Goulet

Évaluation des risques toxicologiques de la contamination environnementale par le manganèse 74
Zayed Joseph, Carrier Gaétan, Kennedy Greg, Butterworth Roger F., Hazell Alan, Mergler Donna

Substances chimiques perturbatrices du système endocrinien 75

Effets des pesticides utilisés dans les vergers sur la faune terrestre 78
Christine Bishop, Pamela Martin, John Elliott, Tony Williams

Effets des perturbateurs endocriniens sur l'adaptation, la croissance et la survie des smolts dans l'eau de mer 81
Scott Brown, Wayne Fairchield, Kats Haya, Geoff Eales, Deborah MacLatchy, Jim Sherry, Don Bennie, Kent Burnison, Robert Evans

Les perturbateurs endocriniens dans les effluents d'eaux usées municipales 83
B. Kent Burnison, Mark Servos, Jim Sherry, Bill Lee, Glen Van Der Kraak, Chris Metcalfe

Effets nocifs sur la reproduction de l'exposition à des perturbateurs endocriniens apparentés à la dioxine 84
Robert F Casper MD

Exposition néonatale aux perturbateurs endocriniens dans le liquide amniotique humain 86
Siu Chan, John Jarrell

Effets des contaminants de l'environnement sur le temps d'attente avant une grossesse 87
Donald Cole

Absorption journalière d'organoétain chez les humains, immunotoxicité et toxicité pour la reproduction chez les mammifères 88
Cooke Gerard, Robaire Bernard, Hales Barbara, Trasler Jacquetta, Morales Carlos, Hermo Louis, Brawer James, Cyr Daniel, Tryphonas Helen, Forsyth Don

Toxicité du trichloroéthylène pour la reproduction 90
P.G. Forkert, R.Taidif, M. Wade, N. Tanphaichitr, A. Leader, F.W.K. Kan, S. Bjarnason, R. Vincent, D. Blakey

Culture de thymus fœtal pour la détermination des effets des perturbateurs endocriniens sur les organes 92
Bernier, J., Cyr, D., Fournier, M., Potworowski, E.F.

Effets des contaminants persistants sur les fonctions immunitaire et thyroïdienne et sur le développement de l'appareil génital des otaries de Guadeloupe argenté dans les années 1990 94
G.A. Fox, L. Shutt, K.A. Grasman, F.M.A. McNabb

Effets d'un œstrogène synthétique sur des populations aquatiques : expérience sur un lac entier dans la région des lacs expérimentaux 96
Karen Kidd

Évaluation endocrinienne détaillée chez les poissons sauvages et caractérisation des perturbateurs endocriniens responsables dans les endroits avoisinant les usines de pâtes 98
Mark McMaster, Mark Hewitt, Mohan Kohli, Glen Van Der Kraak

Effets des perturbateurs endocriniens sur la reproduction des poissons 100
Chris D. Metcalfe

Effets des perturbateurs endocriniens chez les ours polaires 101
Ross Norstrom, Ian Stirling, Nick Lunn, Stelvio Bandiera, Robert Burk, Hans-J. Larsen, Janneche Skaare, Andrew Derocher, Oystein Wiig

Incidence des perturbateurs endocriniens sur la santé des amphibiens dans les écosystèmes agricoles 103
Bruce Pauli, John Elliott, Doug Forsyth, Brian Dixon, Michael Berrill, Alice Hontela

Action de la P-glycoprotéine sur la perturbation environnementale du système endocrinien 105
Reinhart Reithmeier, Jeffrey Charuk

Exposition aux perturbateurs endocriniens et effets de ces substances dans le cadre de pratiques agricoles intensives 106
Mark Servos, Neil Burgess, Kent Burnison, Ken Doe, Bill Ernst, Mark Hewitt, Ed Topp, Mark McMaster, Chris Metcalfe, Jim Sherry, Kevin Teather, Glen Van Der Kraak

Méthodes d'analyse des effets des perturbateurs endocriniens chez des poissons entiers en laboratoire 108
Glen Van Der Kraak, Simon Courtenay, Robert Devlin, Deb MacLatchy, Chris Metcalfe, Joanne Parrott

Polluants atmosphériques 109

Sources chimiques des dérivés d'hydrocarbures aromatiques polycycliques toxiques 113
Jonathan Abbatt

Contribution à l'identification des particules aéroportées dans la ville de Québec 114
Marcel Baril

Impact de la combustion du bois sur l'exposition de la population aux polluants émis 115
Yvette Bonvalot, Ph.D., France Labrèche, Ph.D., Gaétan Carrier, Ing., MD., Ph.D., Jean-Pierre Farant, Ph.D., Tom Kosatsky, MD., M.P.H

Étude des effets sur la santé et caractérisation avancée des polluants atmosphériques urbains 116
Brook Jeffrey, Dann Tom, Mabury Scott, Burnett Richard

Effets négatifs sur le cœur de la pollution atmosphérique 118
Robert Dales

Substances toxiques dans l'air des villes : caractérisation et effets sur la santé 119
Miriam Diamond

Caractérisation en temps réel de la taille, de la composition chimique et des origines des particules en milieu urbain 121
Greg J. Evans

Étude par cohortes sur la qualité de l'air et l'utilisation des services hospitaliers 122
Murray Finkelstein, Dave Verma, Malcolm Sears, Kenneth Chapman

Pollution atmosphérique et maladies cardio-vasculaires 123
James C Hogg, Stephan F van Eeden

Recherche sur la santé et la justice environnementale menée dans le cadre de l'IRST 124
Jerrett, Burnett, Kanaroglou, Brook

Mesure et modélisation de la pollution atmosphérique engendrée par les véhicules automobiles circulant en région urbaine 126
Deniz Karman, Lisa Graham

Impact sur la santé de la population d'une exposition de courte durée à la pollution atmosphérique urbaine 127
Krewski D, Villeneuve PJ, Burnett RT, Goldberg MS, Chen Y.

Méthodes de mesure de la composante biologique dans la matière particulaire 129
David J. Miller, Jeffrey R. Brook

Étude sur les CAP présents dans l'environnement atmosphérique 130
Louis Ramsley, Robert D. Guy, Peter D. Wentzell

Effets cardiorespiratoires chez les humains de l'exposition en milieu contrôlé à des matières particulaires et à l'ozone 132
Silverman F., Brook J., Liu L., Poon R., Parfett C., Vincent R., Kumarathasan P., Urch B., Tarlo S., Speck M., Corey P.

Étude d'exposition contrôlée visant à déterminer l'effet des polluants de l'air urbain sur le système cardio-vasculaire humain 134
Silverman Frances, Brook Jeffrey, Vincent Renaud, Kumarathasan Premkumari, Urch Bruce, Brook Robert, Rajagopalan Sanjay

Effets de la pollution atmosphérique sur les arythmies cardiaques 135
Sverre Vedal, Rick White, Michael Brauer, Charles Kerr, John Yeung, Jim Zidek, John Petkau

Toxicologie par inhalation des polluants atmosphériques : effets pulmonaires et cardio-vasculaires 136
Renaud Vincent, Premkumari Kumarathasan, Stephen Bjarnason, Ian Adamson, Henry Fliss, Irma Lemaire, Denis Nadeau

Caractérisation des HAP et des AOV par la biogéochimie des isotopes C- et H- 137
Michael J. Whiticar (c.p.), Samantha L. Gray, Magnus K. Eek

Réponse inflammatoire du système respiratoire aux expositions à l'ozone chez les enfants et adolescents asthmatiques 138
Zimmerman B, Liu L, Vincent R, Kumarathasan P, Urch B, Tarlo S, Corey P, Silverman F

Effets cumulatifs 141

Évaluation des facteurs de risque liés à l'environnement dans les cas des cancers du sein, du côlon et des poumons à Sydney, Nouvelle-Écosse 145
Pierre Band, Michel Camus, Ronald Dewar, Daniel Krewski

Évaluation des risques présentés par la microcystine-LR dans l'eau potable : étude de l'oncogenèse hépatique chez le rat 148
Michel Charbonneau, Ph.D.

Une approche à bio-indicateurs multiples pour évaluer le risque de cancer hépatique 148
Couillard, C.M., W.J. Cretney, M.G. Ikonomou, G.G. Poirier, M. Lebeuf

Élaboration d'approches alternatives pour la bioévaluation des effets cumulatifs 149
Joseph M. Culp, Kevin J. Cash, Monique G. Dubé, Nancy E. Glozier, Deborah L. MacLatchy

Effets tumorigènes sur la reproduction et le tissu mammaire d'une exposition néonatale aux contaminants du lait maternel 150
Daniel Desaulniers, Michel Charbonneau, Benjamin K Tsang

Évaluation des répercussions cumulatives des mélanges chimiques dérivés du sables bitumineux sur les organismes aquatiques en Alberta 152
D. George Dixon, Andrea J. Farwell, Ralph E.H. Smith, Glen J. Van Der Kraak, Lucila E.J. Lee, Bruce M. Greenberg Michael V. Power

Exposition aux sous-produits de la chloration pendant la grossesse et morbidité 154
Linda Dodds, Will King, B. Anthony Armson, Alexander Allen

Évaluation des risques des mélanges complexes de HAP dérivés du pétrole pour le recrutement des poissons 156
P.V. Hodson, R.S. Brown, J. Parrott, C.M. Couillard, K. Lee, R. Roy, M. Ikonomou

Effets des contaminants organochlorés transférés par la mère sur le succès de reproduction du doré 157
Thomas Johnston, Scott Brown, Anne Kapuscinski, David Michael Whittle

Dosage des chloroalkènes dans le lait par microextraction en phase solide (SPME) et couplage chromatographie en phase gazeuse – spectrométrie de masse (CG-SM) 158
P. David Josephy, Perry A. Martos, Ping Li

Évaluation de la pharmacocinétique et des effets cumulatifs sur la santé des mélanges de sous-produits de désinfection 159
Kannan Krishnan, Robert Tardif, Yan Zielinski, Steve Hrudey, Ken Froese

Effets de la consommation de poisson du Fleuve Saint-Laurent sur l'équilibre hormonal et le transfert du calcium durant la grossesse 161
Julie LAFOND, Donna MERGLER

Interactions entre l'oxygène dissous et les substances nutritives et devenir des éléments toxiques dans les écosystèmes aquatiques à base microbienne 163
J.R. Lawrence, J.J. Germida, J.V. Headley, M. Chenier, R. Roy, C.W. Greer

Effets sur l'environnement et mesures correctives liées aux contaminants dans le port de Sydney en Nouvelle-Écosse 165
Kenneth Lee (CP), Philip Yeats, John Smith, Brian Petrie, Tim Milligan, Jerry Payne, Kok-Leng Tay, William Ernst, Kenneth Doe, Charles Greer, Donald Mackay

Distribution et effets des produits pharmaceutiques dans le milieu aquatique canadien 167
Chris D. Metcalfe

URB-MAN : Outil d'évaluation des risques basé sur l'habitat pour la gestion de l'exposition aux produits chimiques toxiques dans les pêches urbaines 169
Charles Minns, Heather Morrison, Douglas Haffner, Christopher Marvin

Toxicité prénatale interactive et effets neurocomportementaux de l'exposition gestationnelle concomitante au méthylmercure et aux polychlorobiphényles 169
Marc-Edouard Mirault, François Y.Doré, Sonia Goulet et Pierre Ayotte

Élaboration d'une stratégie d'analyse des effets cumulatifs pour la Rivière Saint-Jean 171
K.R. Munkittrick1, M. Hewitt, A. Curry, R. Cunjak, G. Van Der Kraak

Exposition aux organochlorés et impact endocrinien dans une communauté autochtone 173
E. Nieboer, L.I.S. Tsuji, J.S. Kesner, R. Vasquez, B.C. Wainman J.-P. Weber

Détermination des effets des contaminants environnementaux sur les mutations de séquences d'ADN répétées chez la souris 174
Craig L. Parfett, Paul A. White, Carole Yauk, Christopher Somers, James Quinn

Toxicologique associé à l'utilisation de l'éthanol dans l'essence automobile 176
Robert Tardif, Michel Charbonneau

La relation entre les pratiques de récolte traditionnelles inuit, les contaminants environnementaux et la santé et l'exposition de la faune et des humains 177
Richard Tasker, Neil Burgess, Larry Innes

Effets du rayonnement alpha du polonium-210 sur les humains et les animaux 178
Bliss Tracy, Diana Wilkinson, Barry Ford, Mark Wickstrom, Linda Hiebert, Patricia Thomas

Fonction immunitaire et réponse au stress en relation avec l'exposition aux éléments traces chez les canards de mer sauvages de l'Arctique 178
Wayland, Mark et Smits, Judit

Préface

Ce document représente la compilation des résumés des projets de recherche qui ont reçu l'appui financier du programme de l'Initiative de recherche sur les substances toxiques (IRST). Le secrétariat de l'IRST demandait aux chercheurs que leur résumé de recherche soit écrit dans un langage non-spécialisé. Les cinq domaines prioritaires de recherche ciblés par l'Initiative y sont inclus, ils sont: les effets cumulatifs des substances toxiques, les polluants organiques persistants, certaines forme de métaux dans l'environnement, les substances chimiques perturbatrices du système endocrinien et la qualité de l'air en milieu urbain.

Pour chacun des domaines prioritaires de recherche, nous avons inclus l'information pertinente qu'exigeait l'IRST afin de considérer un projet de recherche éligible à l'obtention d'un financement. Plus spécifiquement, l'Initiative exigeait que tous les candidats démontrent clairement que le projet de recherche qu'ils proposaient adressait à la fois l'un des domaines prioritaires de recherche et l'un des besoins prioritaires identifiés pour ce domaine. Les besoins prioritaires sont identifiés pour les années financières 1999-2000 et 2000-2001. Notez qu'aucun appel de proposition n'a été effectué pour l'année financière 2001-2002. Par conséquent, l'IRST n'a de besoins prioritaires pour cette période. Mentionnons, par contre, que plusieurs projets approuvés durant l'année financière 1999-2000 se poursuivront jusqu'au 31 mars 2002.

Tel que mentionné, ce document a été consacré aux résumés de projets de recherche financés par l'IRST depuis son lancement en 1998. Il est important de noter que, pour la plupart des recherches, ces résumés ne constituent d'aucune manière leurs résultats finaux. Le présent document doit être utilisé à titre de résumé de recherche uniquement.

Pour de plus amples renseignements au sujet de l'IRST, visitez notre site Web à l'adresse www.hc-sc.gc.ca/irst. De plus, nous vous invitons à communiquer avec nous pour toutes questions par courrier électronique à l'adresse suivante : PM_TSRI-GP_IRST@hc-sc.gc.ca.

Polluants organiques persistants

Les **POP** sont des substances chimiques demeurant dans l'environnement pour de longues périodes, pouvant se concentrer et s'accumuler dans la chaîne alimentaire, et pouvant parcourir de grandes distances dans l'atmosphère. Depuis son lancement en 1998, l'IRST a alloué plus de 7,4 millions de dollars pour le financement de 21 projets de recherche ciblant le domaine des polluants organiques persistants.

Pour les années financières 1999-2000 et 2000-2001, les candidats devaient accélérer et renforcer le développement des connaissances scientifiques des POP qui peuvent voyager des longues distances et causer des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement.

Pour l'année financière 1999-2000, les besoins prioritaires identifiés étaient:

- Déterminer les effets sur l'écosystème et la santé humaine, et établir les liens des problèmes connus et nouveaux liés à des POP comme endosulfan; pentachlorophenol et pentachloranisol; short-chain chlorinated paraffins; triazine, chlordane et toxaphene;
- Établir dans quelle mesure les sources nationales et internationales contribuent aux niveaux de POP observés du Canada;
- Expliquer l'impact des POP sur la santé humaine et les conséquences qu'ils entraînent (par ex., développement du fœtus, le rapport entre les POP et le cancer chez les enfants et les autochtones, etc.);
- Recueillir les données qui permettront d'établir les risques pour l'écosystème et la santé humaine liés aux POP;
- Établir les caractérisques à long terme des déplacements des POP connus et nouveaux;
- Parachever la recherche nécessaire à l'élaboration de nouvelles lignes directrices sur les tissus humains, lignes directrices sur le sang, apports quotidiens acceptables et conseils en matière de santé, principalement pour les populations à risque comme les enfants, les femmes enceintes et les autochtones;
- Identifier les mécanismes d'action pour les effets toxiques constatés dans les écosystèmes et chez les humains exposés aux POP lorsque des décisions politiques ou réglementaires sont requises; et
- Améliorer la compréhension du caractère pharmaco-cinétique et pharmaco-dynamique des POP lorsque des décisions réglementaires sont requises.

Pour l'année financière 2000-2001, les besoins prioritaires identifiés étaient:

- Recueillir les données qui permettront d'établir les risques pour l'écosystème et la santé humaine liés aux POP prioritaires connus provenant de sources canadiennes et étrangères, particulièrement en rapport avec l'élaboration de nouvelles lignes directrices concernant les tissus humains, le sang, les doses quotidiennes acceptables, et les avis sanitaires spécialement pour les populations à risque, comme les enfants, les femmes enceintes et les autochtones; et
- Élaborer des méthodes pour l'étude du transport des POP permettant particulièrement de déterminer les contributions relatives des sources canadiennes et étrangères aux niveaux de POP observés au Canada, ainsi que les pays d'origine des sources internationales.

Pour l'année financière 2001-2002:

Notez qu'aucun appel de proposition n'a été effectué pour l'année financière 2001-2002. Par conséquent, l'IRST n'a pas développé de besoins prioritaires pour cette période. Mentionnons, par contre, que plusieurs projets approuvés durant l'année financière 1999-2000 se poursuivront jusqu'au 31 mars 2002.

Incidences des polybromodiphényléthers sur l'environnement et la santé au Canada

Mehran Alaee[1], Nigel Bunce[2], Michael Ikonomou[3], Michel Lebeuf[3], Chris Metcalf[4], Derek Muir[1], Jake Ryan[5], Dave Sergeant[3], Keith Solomon[2], Bryan Wakeford[1], Mike Whittle[3]

Environnement Canada, [2] Université de Guelph, [3] ministère des Pêches et des Océans, [4] Université Trent, [5] Santé Canada

Les ignifuges sont des substances chimiques qu'on ajoute à des résines et à des polymères utilisés dans les peintures, les textiles et le matériel électrique et électronique pour les empêcher de prendre feu et pour ralentir la combustion. Ainsi ces substances sont incorporées à de nombreux produits commerciaux dont on fait un usage intensif dans la vie moderne (téléviseurs, ordinateurs, voitures, vêtements, matériaux de construction, etc.). Les ignifuges se divisent en deux grands sous-groupes : les ignifuges réactifs, composés qui sont chimiquement liés aux plastiques, et les ignifuges additifs, qui ne sont que mélangés avec les autres éléments des polymères. Ainsi, les ignifuges additifs se libèrent facilement des matériaux mis au rebut et se retrouvent dans l'environnement. Les additifs les plus fréquemment utilisés sont les polybromodiphényléthers (PBDE), produits en grandes quantités depuis le début des années 1980. Leur production annuelle est passée de 20 000 tonnes en 1984 à 67 000 tonnes en 1999. En raison de la réglementation rigoureuse en matière de protection incendie dans de nombreux pays, on s'attend à ce que l'emploi d'ignifuges bromés tels les PBDE progresse d'environ 5 % par an. Les PBDE sont persistants et se concentrent dans les tissus animaux et humains. Anderson et Blomkvist ont été les premiers à signaler la présence de PBDE dans le poisson des rivières suédoises en 1981. Depuis, on a décelé des concentrations de PBDE dans de nombreux environnements du monde, y compris dans des régions intactes comme l'Arctique, ce qui indique qu'il s'agit de polluants omniprésents. On les a aussi décelés dans les tissus humains; une étude de Norén et Meironyté a révélé que les concentrations de PBDE dans le lait maternel en Suède avaient quintuplé au cours des 25 dernières années. Ces résultats ont amené l'Union européenne à interdire le pentaBDE à compter de juillet 2003.

Nous avons évalué les incidences des PBDE sur l'écosystème du Canada et la santé des Canadiens. Deux grands volets de notre recherche portaient sur a) les concentrations et les tendances dans les composantes de l'environnement et b) la toxicité. Notre premier objectif a été de déterminer la répartition des PBDE dans l'environnement. Nous en avons décelé dans tous les milieux : dans l'atmosphère (Arctique et Grands Lacs), dans l'eau (lac Ontario), dans les sédiments en suspension (rivière Wapiti), dans les sédiments (lac Ontario, estuaire du Saint-Laurent), dans les boues usées (un peu partout au Canada), dans le biote (estuaire du Saint-Laurent, Grands Lacs, Arctique, détroit de Georgia), dans les œufs d'espèces sauvages (un peu partout au Canada), dans le panier d'épicerie et dans le lait humain (un peu partout au Canada). L'étape suivante de notre étude a consisté à déterminer l'évolution dans le temps des concentrations de PBDE en nous servant d'échantillons archivés de biote, d'œufs de goéland, de lait humain et de sédiments. Les résultats montrent qu'elles sont à la hausse dans l'environnement canadien. Le taux d'augmentation a montré une bonne corrélation avec l'augmentation de l'emploi du brome pour fabriquer des ignifuges bromés. Les études de la toxicité ont montré que les PBDE sont moins toxiques que les dibenzodioxines et dibenzofurannes polychlorés. Cela dit, des résultats européens récents indiquent que ces composés peuvent perturber les fonctions hormonales de la thyroïde et avoir une activité œstrogénique.

Effets sur la reproduction et le développement d'un mélange organochloré pertinent du point de vue de l'environnement

Pierre Ayotte et Janice L. Bailey
Université Laval, Québec, Canada

Il a été montré que plusieurs organochlorés qui forment un mélange complexe dans les chaînes alimentaires aquatiques interagissent avec les systèmes hormonaux, comme ceux des androgènes et des œstrogènes. Notre hypothèse principale est que l'exposition *in utero* et par le lait maternel à un mélange complexe, pertinent du point de vue de l'environnement, d'organochlorés qui sont des perturbateurs du système endocrinien a pour effet d'altérer le développement de l'appareil reproducteur mâle, ce qui nuit plus tard à la fonction reproductrice chez l'adulte. Notre hypothèse complémentaire est que ce mélange d'organochlorés modifie la maturation des gamètes et les premières étapes du développement de l'embryon. Nous avons retenu le porc comme modèle expérimental, en raison des similitudes de sa physiologie avec celle de l'homme, en particulier quant à l'appareil reproducteur et au système endocrinien.

Dans le volet *in vivo* de l'étude, nous avons administré à des truies un mélange organochloré semblable à celui trouvé dans les aliments traditionnels de la chaîne alimentaire aquatique de l'Arctique dont se nourrissent en partie les Inuits du Nunavik (dans le Nord du Québec, au Canada). Nous avons inséminé les truies avec la semence d'un verrat non traité et avons continué d'exposer les femelles tout au long de la gestation et de la lactation. Les porcelets mâles ont été allaités durant leur premier mois de vie et ont reçu une alimentation normale après le sevrage. L'exposition prénatale aux organochlorés a donné des porcelets de moindre taille à la naissance. Les spermatozoïdes des verrats du groupe exposé à une forte dose avaient une motilité réduite en comparaison des animaux témoins. En outre, nous avons observé à l'autopsie une diminution dose-réponse du poids des testicules, ce qui indique peut-être un effet antiandrogène.

Nous avons étudié le potentiel de perturbation du système endocrinien de notre mélange en nous servant de divers systèmes cellulaires exprimant le gène rapporteur de la luciférase. Le mélange a montré une activité antiandrogène qui semblait être imputable uniquement au *p,p'*-DDE qu'il contenait. Il a aussi présenté une faible activité œstrogénique qu'il faut sans doute attribuer à des xénoœstrogènes comme le *p,p'*-DDT, le β-hexachlorocyclohexane et le *p,p'*-DDE. De plus, le mélange a montré une activité de type dioxine semblable à celle provoquée par les congénères de PCB mono-ortho.

Dans la dernière série d'expériences, nous avons exposé *in vitro* des gamètes de porc au mélange. L'exposition de complexes cumulus-ovocytes durant la maturation *in vitro* a diminué la qualité de l'expansion des cellules du cumulus et augmenté le pourcentage de ces cellules subissant une mort programmée (apoptose). Le mélange a aussi ralenti la maturation de l'ovocyte et les premiers stades du développement embryonnaire, après insémination avec de la semence de verrat non traité. L'exposition durant la fécondation *in vitro* a réduit le taux de pénétration de l'ovocyte par le sperme et le développement des premiers stades embryonnaires. L'incubation du seul sperme dans le milieu de culture contenant le mélange a réduit la motilité et la viabilité des spermatozoïdes.

Selon nos résultats, l'exposition *in utero* et par le lait maternel à ce mélange organochloré analogue à celui trouvé dans le réseau alimentaire aquatique de l'Arctique peut altérer la croissance et le développement des organes reproducteurs des porcs mâles. *In vitro* le mélange perturbe la fertilité des ovocytes et des spermatozoïdes ainsi que le développement des embryons. On continue d'étudier les effets de ce mélange, cette fois chez le rat.

Sources des produits agrochimiques dans l'atmosphère et diffusion dans l'environnement canadien

Terry Bidleman[1], Thomas Harner[2], Brian Ripley[3], Trevor Scholz[4], Sunny Szeto[2], Derek Muir[1], Don Waite[1], John Struger[1], William Strachan[1], Laurens Van Vliet[5], Jeffrey Ridal[6]

[1]Environnement Canada; [2]Consultant; [3]Université de Guelph; [4]Canadian Ortech Environmental Inc.; [5]Agriculture et agroalimentaire Canada; [6]Institut des sciences environnementales du fleuve Saint-Laurent

Cette étude vise à déterminer si l'apport de pesticides bannis qui se poursuit dans l'environnement canadien est dû au recyclage de sol et d'eau contaminés, ou à la migration de pesticides utilisés dans d'autres pays. Elle vise aussi à déterminer la source des pesticides atmosphériques par un relevé des sols agricoles de certaines régions du Canada et des États-Unis. Ce projet permettra de mieux comprendre l'origine des pesticides atmosphériques, ainsi que leur mode de transport dans les écosystèmes canadiens.

Mécanisme par lequel l'hexachlorobenzène favorise le développement sexospécifique de tumeurs chez le rat

Michel Charbonneau, Ph.D. et Daniel G. Cyr, Ph.D.
INRS-Institut Armand Frappier, Université du Québec, 245, boul. Hymus, Pointe-Claire (Québec), H9R 1G6

L'hexachlorobenzène (HCB) est un contaminant répandu de l'environnement qui a été utilisé comme fongicide et qui est un sous-produit de certaines industries. L'emploi de l'HCB comme fongicide est interdit dans la plupart des pays industrialisés depuis environ 30 ans, mais il s'agit d'un contaminant persistant qui est toujours présent dans l'environnement canadien. Chez l'humain, l'exposition au HCB a été reliée à la porphyrie et au cancer du foie. Des études antérieures sur des rongeurs ont montré que le HCB est un cancérogène épigénétique, c'est-à-dire qu'il n'occasionne pas de mutation de l'ADN. L'administration de HCB aux rats rend les femelles plus susceptibles que les mâles de développer des tumeurs hépatiques. Les jonctions lacunaires se composent de protéines transmembranaires intégrales appelées connexines (Cx). Il y a deux Cx dans le foie, Cx26 et Cx32. L'objectif de notre étude était de déterminer les effets du HCB sur la communication intercellulaire par jonction lacunaire (CIJL), pour caractériser le dimorphisme sexuel dans la formation de tumeurs induite par le HCB. La courte exposition de rates au HCB a occasionné une réduction à long terme de la CIJL. Cette diminution de la communication intercellulaire chez les rates semble être le résultat d'une diminution de la synthèse de Cx32 et de Cx26, qui sont les protéines à l'origine de la formation des pores cellulaires qui constituent la jonction lacunaire. Chez les rats mâles, l'exposition au HCB ne modifie par la quantité de Cx. La diminution de ces protéines chez les femelles se produit avant la formation des tumeurs, ce qui fait supposer qu'il s'agit d'un marqueur précoce d'une carcinogenèse provoquée par une substance chimique.

La comparaison de l'expression des gènes au moyen d'une matrice différentielle d'ADN complémentaire de près de 1 200 gènes révèle une différence importante dans la réaction des mâles et des femelles à l'exposition au HCB. Dans le cas des mâles, les gènes semblent régulés en amont par comparaison à ceux des rats témoins. Dans le cas des femelles, toutefois, l'expression des gènes apparaît diminuée pour la majorité des gènes hépatiques étudiés. Ce dimorphisme sexuel dans la réaction du foie peut fournir des renseignements essentiels pour comprendre non seulement le dimorphisme sexuel de la carcinogenèse induite par le HCB, mais aussi jeter de la lumière sur l'hépatocarcinogénèse. Notre recherche permettra d'améliorer l'évaluation du risque sanitaire du HCB.

Neurotoxicité développementale de mélanges de polluants organiques persistants présents dans l'environnement

Ih Chu, Wayne Bowers, Jamie Nakai, Olga Pulido, Santokh Gill et David Moir

Les scientifiques et le public se préoccupent des effets sur la croissance et le développement, et en particulier sur le développement et la fonction du système nerveux, de l'exposition des fœtus, des nourrissons et des enfants à des substances chimiques dans l'environnement. Des études épidémiologiques des humains et des essais en laboratoire sur des rats semblent indiquer que les polluants organiques persistants (POP) peuvent altérer le développement et le fonctionnement du cerveau. Les études animales montrent des relations de cause à effet, mais elles font souvent intervenir de très fortes doses ou exposent les sujets à des substances uniques ou à des mélanges simples qui ne rendent pas compte de l'exposition humaine réelle. Notre étude visait à évaluer les effets neurodéveloppementaux de l'exposition à un mélange de POP basé sur les concentrations trouvées dans le sang de personnes qui consomment de grandes quantités de poissons pêchés dans les Grands Lacs. Pour Ce faire, nous avons exposé des groupes de rates gravides à diverses doses (entre 1 et 1 000 fois les concentrations relevées dans le sang humain) du mélange de POP depuis le premier jour de gestation jusqu'au sevrage. Nous avons évalué le neurodéveloppement de la progéniture à divers âges pour déterminer la persistance des effets et découvrir tout effet différé. Nous avons effectué chez les ratons, les jeunes adultes et les adultes en pleine maturité diverses mesures qui nous ont permis de faire une évaluation globale des effets toxicologiques et d'évaluer les effets biologiques qui peuvent intervenir dans la modification du fonctionnement neurologique.

L'exposition au mélange n'a pas modifié la reproduction, mais la plus forte dose a diminué le poids à la naissance et le taux de croissance, effets qui ont persisté au moins jusqu'à l'âge de 35 jours. L'observation la plus frappante a été le taux de mortalité étonnamment élevé (80 %), et des anomalies dans la structure faciale des ratons survivants du groupe exposé à la plus forte dose. Nous ne nous attendions pas à ces résultats d'après les études déjà publiées et notre propre étude pilote; ils font supposer qu'il peut y avoir des effets additifs ou synergiques à l'exposition à un grand nombre de substances chimiques. Nos données montrent aussi l'importance d'effectuer des études toxicologiques en employant des mélanges trouvés dans l'environnement plutôt que des contaminants simples.

Parce que le comportement reflète l'intégration fonctionnelle du système nerveux, nous avons soumis des ratons et des rats adultes à divers tests de comportement. Ces tests ont permis de mesurer le fonctionnement sensoriel et moteur, le développement des réflexes neuraux, la réactivité, la capacité d'apprentissage et la mémoire. Les résultats obtenus jusqu'ici indiquent que le mélange de substances chimiques modifie de fait le fonctionnement du système nerveux, mais nous ne comprenons pas encore toute la portée des perturbations.

Nous avons recueilli d'autres mesures terminales toxicologiques liées aux mesures comportementales dont nous procédons à l'analyse. La neurochimie du cerveau fournira des mesures des incidences des POP sur les messagers chimiques dans des régions précises du cerveau, tandis que les données de neuropathologie permettront d'évaluer l'impact du mélange de POP sur la structure anatomique et cellulaire du cerveau. Nous obtiendrons des données sur les dommages subis par les cellules cérébrales en mesurant les modifications

dans les niveaux de protéines particulières grâce à des biomarqueurs moléculaires. Nous avons en outre recueilli des données sur les effets systémiques de l'exposition au mélange chimique. Les résultats se rapportant aux femelles gravides et à leur progéniture montrent que les concentrations des enzymes du foie qui aident à métaboliser et à détoxiquer les substances étrangères sont plus élevées, mais seulement après l'exposition à la plus forte dose du mélange. La plus forte dose a aussi modifié la structure de la thyroïde chez les mères, mais sans effet sur les quantités d'hormones sécrétées.

Une singularité de notre recherche est d'intégrer les effets neurocomportementaux, neurochimiques, neuropathologiques, moléculaires et systémiques, de façon à offrir une évaluation complète des incidences neurodéveloppementales d'une exposition aux POP avant et après la naissance. Les résultats que nous avons obtenus donneront aux autorités de santé publique les renseignements nécessaires pour mieux comprendre les risques neurotoxiques de l'exposition précoce à des mélanges de substances chimiques.

Effets du DDT sur la fonction reproductrice des hommes au Chiapas (Mexique)

Éric Dewailly, Pierre Ayotte, François R. Rousseau et Janice L. Bailey
Université Laval (Québec, Canada)
Tiaan de Jager
Université Laval et Université de Pretoria (Afrique du Sud)
Paulina Farias S., Mauricio Hernandez Avila
Institut national de santé publique (Mexique)

Dans plusieurs pays, on continue d'épandre du DDT contre les moustiques pour enrayer la malaria. En raison de la stabilité, de la persistance et de l'emploi répandu de cet insecticide, on en trouve des résidus partout. Le DDT présent dans les aliments demeure la plus grande source d'exposition de la population en général. Le DDT a chez les humains des effets aigus à court terme limités, mais on impute aux expositions à long terme des effets chroniques, y compris des problèmes de fertilité chez les hommes.

Les constatations de notre étude pilote apportent les premières preuves qu'une charge corporelle élevée de DDE (principal métabolite du DDT) peut altérer l'équilibre hormonal et la fonction reproductrice chez l'homme. Notre étude visait essentiellement à évaluer l'exposition biologique, les profils hormonaux, les paramètres de base du sperme et la fonction spermatique afin de déterminer le rapport entre l'exposition au DDT et la fertilité masculine dans un grand échantillon d'hommes du Chiapas, une des régions où on pulvérise le plus de DDT au Mexique (pour lutter contre la malaria). Nous avons recruté 161 hommes du secteur de Tapachula au Chiapas. De ce nombre, 28 venaient d'une collectivité non exposée (19 avec deux échantillons et 9 avec un). Dix-sept hommes ne respectaient pas les critères de sélection ou ont été incapables de fournir un échantillon de sperme. Tous les participants ont donné des échantillons de sang. Les 28 participants travaillaient dans des plantations de café biologique d'une collectivité voisine, et ils pourraient servir de groupe témoin, car aucun DDT n'a été épandu dans leur coin. Nous avons administré un questionnaire détaillé portant notamment sur l'exposition à des toxiques, le régime alimentaire, la fertilité et les antécédents cliniques. Nous avons informatisé les données et comparé les paramètres de fertilité et les données sur les pesticides et les stéroïdes.

La concentration moyenne de DDE était de 180 µg/l(ppb). Rajustée en fonction des lipides totaux, la concentration moyenne des lipides sériques était de 47,2 mg/kg (ppm). Nous avons trouvé du DDT et du DDE dans le groupe non exposé. Les analyses du sperme ont révélé que la quantité de sperme chez ces hommes était inférieure à la normale. Le volume moyen de 1,84 ml dans le groupe exposé pourrait indiquer un effet toxique au niveau des vésicules séminales et de la prostate. Le pH du plasma séminal était élevé (moyenne de 7,98). Le faible volume de sperme et le pH élevé indiquent tous deux un effet toxique sur la prostate. Nous avons trouvé une corrélation positive entre la concentration de DDT et les niveaux de testostérone. L'augmentation de la testostérone est une indication directe de l'effet antiandrogène du DDT.

Le fait que les paramètres de la reproduction et l'état hormonal des participants aient été touchés a des conséquences graves pour la santé humaine. Nos résultats font ressortir le besoin de surveiller de près et d'étudier plus avant les populations exposées en permanence à de fortes doses de DDT pour repérer les effets sur la fonction reproductrice.

Accumulation de contaminants organochlorés chez le Balbuzard pêcheur

John Elliot

Le Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*) est un oiseau piscivore qui vit presque partout dans le monde. La qualité de la coquille de ses œufs et la viabilité des embryons sont sensibles aux effets des contaminants que sont les hydrocarbures chlorés (HC), comme le DDE. Les populations du Balbuzard pêcheur ont donc diminué au cours des années 1960 et 1970 en Amérique du Nord. Après l'interdiction des HC les plus toxiques, les populations se sont rétablies à de nombreux endroits.

Il reste des points chauds, et une étude récente a montré des concentrations élevées de DDE dans les œufs de Balbuzard pêcheur dans la région qui borde le Pacifique Nord-Ouest; dans 23 % des cas, la concentration était de celles qui s'accompagnent d'effets sur le développement (>4,3 mg/kg). Des études récentes ont aussi trouvé dans le poisson de lacs de hautes montagnes en Colombie-Britannique et en Alberta des concentrations de HC suffisantes pour présenter une menace pour la reproduction du Balbuzard pêcheur. C'est dans l'atmosphère que cette pollution a migré, des régions où les contaminants sont ou ont été utilisés jusque dans les régions froides, nordiques ou de haute altitude, où elle s'est déposée. Le Balbuzard pêcheur est exposé au DDT dans ses aires d'hivernage en Amérique latine, où l'insecticide continue d'être épandu. Nos travaux, qui ont porté sur la nidification du Balbuzard pêcheur en haute altitude, visaient à déterminer son exposition aux HC et à évaluer les apports respectifs des aires de nidification et des aires d'hivernage à la charge corporelle totale de contaminants.

Nous avons donc mesuré les résidus de HC dans les œufs et le sang du Balbuzard pêcheur ainsi que dans le poisson dont il se nourrit dans les aires de nidification en Colombie-Britannique et dans le Sud du Yukon. D'abord, nous avons dû trouver des nids sur les plans d'eau en montagne ou dans des bassins hydrographiques alpins. Nous avons prélevé un seul œuf d'un sous-ensemble de nids et y avons dosé les HC. Quand c'était possible, nous avons aussi prélevé un échantillon de sang d'une femelle adulte et l'avons analysé, pour estimer d'après toutes les données la charge de ces HC dans l'aire de nidification. Entre les semaines 5 à 7, nous sommes retournés au nid pour prélever un échantillon de sang des oisillons restants afin d'estimer la charge de HC accumulée à partir de la nourriture. Nous avons évalué l'effet des concentrations de HC sur la réussite de la nidification en conjuguant le recensement des œufs et des oisillons et en comparant les résultats avec les mesures des résidus locaux. Nous avons prélevé des poissons dont se nourrit le Balbuzard pêcheur et les avons analysés afin d'estimer l'apport en HC de la nourriture locale. À certains endroits, nous avons attaché des émetteurs satellitaires aux oiseaux pour suivre leur migration vers les aires d'hivernage du Sud. Nous avons estimé les HC à ces aires d'hivernage en prélevant des poissons et en les analysant.

Nous avons achevé les travaux de terrain, mais nous poursuivons les analyses chimiques, qui ne seront pas terminées avant le début de 2002. Les résultats préliminaires montrent des concentrations décelables de HC dans tous les échantillons de poissons et d'œufs et de plasma de Balbuzard pêcheur. Nous avons trouvé une concentration élevée de DDE, à 18 ppm, chez un oiseau du lac Exshaw (Alberta), mais des concentrations inférieures à 4,3 ppm chez tous les autres. Dans la plupart des cas, les concentrations de HC sont faibles dans les échantillons de sang des oiseaux et dans les poissons en Colombie-Britannique par comparaison aux régions du Sud. Quinze oiseaux ont porté des émetteurs satellitaires tout au long de l'étude; la plupart ont hiverné dans les États mexicains de Sinaloa et de Ve-

racruz, mais un s'est rendu dans le Nord du Venezuela.

Les résultats obtenus jusqu'ici sont de bon augure pour les populations du Balbuzard pêcheur en Colombie-Britannique, dont la charge de DDE ne semble pas suffisante pour nuire à la reproduction. Toutefois, il semble que les populations de poissons de haute altitude accumulent du DDE à des concentrations qui pourraient être nocives pour leurs prédateurs, dont le Balbuzard pêcheur. Nos résultats de télémétrie montrent, pour la première fois, que le Balbuzard pêcheur de l'Ouest du Canada va hiverner jusqu'en Amérique du Sud.

Effets des pesticides d'origine agricole sur la physiologie des amphibiens

Fournier Michel, Brousseau Pauline, Cyr Daniel, Marcogliese David, Ruby Sylvie

Il est bien documenté que depuis environ une quinzaine d'années, nous observons un déclin chez les amphibiens et cette situation existe à de multiples locations géographiques sur la planète. Plusieurs facteurs environnementaux sont suspectés. Entre autre, nous pouvons citer la modification et/ou la destruction des habitats, les rayons UV, les agents infectieux, les parasites ou encore les produits chimiques. De plus, ces facteurs pourraient agir seuls, de manière séquentielle ou synergie. Néanmoins, parmi tous ces facteurs, la pollution retient de plus en plus l'attention.

L'objectif principal de ce projet était donc de développer et de valider un modèle amphibien de laboratoire afin de nous permettre d'étudier les conséquences d'une exposition à des pesticides d'origine agricole, et ce à des doses retrouvées dans l'environnement, sur la physiologie des amphibiens. La recherche était orientée principalement vers les systèmes endocrinien, reproducteur et immunitaire. Deux espèces de grenouilles ont été utilisées, *Xenopus laevis* pour optimiser le modèle et faire des études préliminaires et *Rana pipiens* comme espèce indigène au Québec. Deux modes d'expositions ont aussi été utilisés. Un premier contenant un mélange défini de pesticides (atrazine, aldicarb, dieldrine, endosulfan, lindane, métribuzin) servant à des études mécanistiques et un second utilisant de l'eau récoltée dans une rivière au Québec (Chibouet) au début juin, période durant laquelle les pesticides se retrouvent en quantité importante. Finalement, la dernière étape du projet comportait des études de terrain avec *Rana pipiens* vivant dans des sites propres et contaminés.

Une exposition de 21 jours au mélange de pesticides a provoqué, chez les deux espèces, des changements importants sur le système immunitaire en modulant la phagocytose et en supprimant la prolifération des lymphocytes et ce à des doses dix fois inférieures à celles retrouvées dans l'environnement. Pour le système reproducteur, cette exposition a augmenté de manière significative la résorption des testicules et le nombre d'oocytes chez les femelles. Pour le système endocrinien l'analyse de la vitellogénine a été effectuée, mais aucun changement significatif a été noté. Pour complémenter les données sur le système immunitaire, nous avons mis au point un modèle de résistance chez *Rana pipiens* avec le parasite *Rhabdias ranae*. Les grenouilles exposées pendant 21 jours au mélange ont été infectées avec environ 30 larves de *Rhabdias* chacune. Les grenouilles ont été replacées dans des aquarium contenant de l'eau sans chlore et le suivi de l'infection s'est fait pendant 21 jours. Nous avons noté chez les animaux dont le système immunitaire était défaillant un niveau d'infection beaucoup plus important.

En ce qui concerne l'exposition à l'eau de la rivière Chibouet, nous avons observé une augmentation de la mortalité des têtards de 30% et une baisse significative de la phagocytose. Néanmoins, l'effet le plus dramatique a été un arrêt dans le processus de métamorphose. En effet, au début de l'exposition les têtards étaient au stade 45 et à la fin de l'exposition de 44 jours, les têtards, quoique plus gros, étaient toujours au stade 45. Le système reproducteur très peu développé à ce stade n'a pu être étudié.

Les conséquences très importantes observées sur la métamorphose et sur les systèmes immunitaires et reproducteurs démontrent bien la vulnérabilité des amphibiens face aux pesticides d'origine agricole. Que ces pesticides agissent en diminuant la résistance des animaux les rendant plus vulnérables face à différents type d'infection et/ou en altérant le développement du système reproducteur et/ou en bloquant la métamorphose, il n'en demeure pas moins que tous ces effets peuvent affecter d'une manière très significative la survie des populations d'amphibiens.

Le toxaphène dans l'écosystème marin du Saint-Laurent : état de la contamination, écotoxicologie et santé humaine

J.-P. Gagné[1], C. M. Couillard[2], D. Girard[3], B. Gouteux[1], M. Lebeuf[2], C. J. Roberge[4], G. Stern[5]

[1] Institut des sciences de la mer de Rimouski, 310 allee des Ursulines, Rimouski, Qc, G5L 3A1; [2] Ministère des Pêches et des Oceans, Mont-Joli, Qc; [3] INRS-Institut Armand Frappier, Pointe Claire, Qc; [4] Association du cancer de l'Est du Quebec, Rimouski, Qc; [5] Department of Fisheries and Oceans, Winnipeg, Manitoba

Le toxaphène est un pesticide organochloré qui a été utilisé intensivement au cours des années 70. Au début des années 80, la reconnaissance de sa toxicité a entraîné son bannissement au Canada et aux É.U. Malgré ces mesures, on retrouve ce contaminant disséminé en quantités importantes dans les régions froides du Canada. Dans l'Est du Canada, pour l'écosystème marin du Saint-Laurent (EMSL), il existe très peu de données sur la contamination par le toxaphène. Deux études sur les bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent indiquent que ces mammifères sont parmi les plus contaminés de la planète. Puisqu'on connaît peu de choses sur la présence et les effets toxicologiques du toxaphène dans l'EMSL, il est important de poursuivre les objectifs de déterminer la dispersion du toxaphène dans l'EMSL et d'évaluer certains risques toxicologiques pour les organismes aquatiques et les humains liés à la présence de ce contaminant. Cette recherche fournit de nouvelles informations sur la distribution du toxaphène dans l'EMSL et sur sa toxicité pour le système immunitaire humain et pour les embryons des poissons marins.

Pour connaître la dispersion du toxaphène dans l'EMSL, nous avons étudié 13 organismes marins représentatifs de la pyramide alimentaire. Ils contiennent tous du toxaphène à des concentrations inférieures au contenu total en BPC ou en DDT. Les vers vivants dans les sédiments sont les moins contaminés alors que les phoques et les bélugas présentent les plus fortes teneurs. Toutefois, pour les poissons propres à la consommation humaine comme le hareng et le flétan, les concentrations mesurées sont inférieures aux limites internationales recommandées. Nos travaux suggèrent que les poissons de l'EMSL sont dans les normes pour la consommation humaine. Cependant, la toxicité pour les organismes aquatiques eux-mêmes reste à être déterminée.

Pour étudier les risques toxicologiques résultant d'une exposition au toxaphène chez les poissons, nous avons étudié l'association possible entre les malformations vertébrales observées chez des poulamons atlantiques capturés dans l'EMSL en relation avec la concentration en toxaphène des foies. Nos travaux montrent que les concentrations de toxaphène ne sont pas reliées à la présence de malformations vertébrales chez les poissons adultes (3 à 5 ans). De plus, la prévalence des malformations n'augmente pas avec l'âge des poissons. Des travaux sont en cours pour tester l'hypothèse qu'une exposition au toxaphène au stade embryonnaire pourrait être critique dans le développement de malformations. Récemment, nous avons induit des malformations vertébrales chez des embryons d'un poisson marin, le choquemort, exposé au toxaphène commercial. Nos travaux futurs porteront sur les effets embryotoxiques du toxaphène extrait des tissus de poulamons. Ils chercheront à établir les concentrations tissulaires liées à des réponses toxiques.

L'étude de la toxicité du toxaphène chez l'humain est difficile car nous ne pouvons l'exposer volontairement à ce contaminant. Pour contourner ce problème, nous avons effectué des tests de toxicité in vitro sur un type de globules blancs isolés du sang humain, les cellules neutrophiles. Ces cellules font partie de

la première ligne de défense de l'organisme contre les agents infectieux. Nos travaux montrent que le toxaphène modifie le comportement des cellules neutrophiles en fonction de la concentration ajoutée. Ceci suggère que le système immunitaire humain peut être affecté par ce contaminant. Les mécanismes impliqués dans la réponse du système immunitaire sont en cours d'étude.

Bioaccumulation des esters phtaliques dans la chaîne alimentaire aquatique

Frank A.P.C. Gobas1, Cheryl E. Mackintosh1, Glenys Webster1, Michael Ikonomou2

1École de gestion des ressources et de l'environnement, Université Simon Fraser, Burnaby (Colombie-Britannique) Canada V5A 1S6; 2Ministère des Pêches et des Océans, Section des sciences des contaminants, Institut des sciences de la mer, Sidney (Colombie-Britannique) Canada V8L 4B2

Les esters phtaliques sont des produits chimiques industriels utilisés comme plastifiants dans le polychlorure de vinyle (PCV), les polyacétates de vinyle, les huiles lubrifiantes, les pièces d'automobile, les peintures, la colle, les insectifuges, les pellicules photographiques, les parfums, les emballages pour aliments et de nombreux autres produits. Entre 1980 et 1990, le Canada et les États-Unis en ont produit environ 200 000 tonnes par année. Le niveau de production mondial actuel s'élève aux environs de 4 300 000 tonnes par année. Ces substances, qui figurent sur la Liste des substances d'intérêt prioritaire, sont considérées comme préoccupantes au Canada parce qu'il s'agit de substances huileuses qui ne se dégradent pas facilement. Certaines de leurs propriétés pourraient leur permettre de s'accumuler dans les tissus adipeux des organismes et de se bioamplifier dans la chaîne trophique, ce qui se traduirait par des concentrations élevées dans les organismes situées au sommet de la chaîne. La nouvelle version de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement cherche à identifier les substances bioaccumulables dans le cadre d'une évaluation des dangers et des risques. La commercialisation des substances toxiques persistantes ou bioaccumulables peut être interdite au Canada.

L'objectif de notre étude était d'évaluer la capacité de bioaccumulation et de bioamplification des esters phtaliques dans une chaîne trophique marine. À cette fin, nous avons prélevé des échantillons d'eau, de sédiments et de divers organismes biologiques représentatifs des différents types de chaînes alimentaires aquatiques dans 3 stations d'une section du bras de mer Burrard. Nous avons analysé ces échantillons et déterminé leurs teneurs en divers esters phtaliques. Pour cela, il a fallu mettre au point de nouvelles méthodes d'analyse et de détection capables de surmonter les problèmes posés par la contamination naturelle et de quantifier les mélanges industriels complexes d'esters phtaliques qui sont fabriqués et utilisés dans les produits commerciaux. Nous avons ainsi découvert que les concentrations d'esters phtaliques étaient beaucoup plus élevées dans les organismes biologiques échantillonnés que dans l'eau. Ces esters seraient donc bioaccumulables. Les facteurs de bioaccumulation de certains d'entre eux dépassaient le critère de bioaccumulation de 5 000 défini dans la Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Nous avons également constaté que les esters phtaliques ne sont pas bioamplifiables dans la chaîne alimentaire. Nous avons en effet pu observer que les concentrations de certains esters étaient moins élevées dans les organismes du sommet de la chaîne que dans ceux du bas. Ce phénomène est parfois appelé « dilution trophique », par opposition à la « bioamplification ». D'après nos résultats, il semble que les esters phtaliques sont efficacement dégradés lorsqu'ils sont absorbés par la voie alimentaire. La dégradation est cependant moins efficace lorsqu'ils sont absorbés par les branchies des organismes, et on observe alors une bioaccumulation. Les esters phtaliques seraient donc moins bioaccumulables que les PCB. Si l'intention du règlement adopté en vertu de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement de 1999 est de déterminer si les substances chimiques bioamplifiables, comme les PCB, sont aussi bioaccumulables, alors notre étude indique que les esters phtaliques ne sont pas bioaccumulables. Cette conclusion est importante car, s'ils ne sont considérés ni comme bioaccumulables ni comme persistants, les esters phtaliques pourraient ne plus être évalués en fonction de leurs effets toxiques sur l'environnement.

Présence, devenir et effets des surfactants fluorés dans l'environnement canadien

Scott Mabury
Département de chimie, Université de Toronto
Derek Muir et Brian Scott
Institut national des recherches sur les eaux
Keith Solomon
Département d'écobiologie, Université de Guelph

Les surfactants perfluorés (SP) sont des substances chimiques récalcitrantes et persistantes dont les applications dans l'industrie et les produits de consommation sont répandues. Lorsque nous avons entamé nos travaux, presque rien n'avait été publié au sujet de cette catégorie de substances chimiques, mais nous avons fait l'hypothèse que les SP sont très persistants et bioaccumulatifs, très répandus dans l'environnement et potentiellement toxiques. Un an après le début de notre étude, le principal fabricant a retiré toute sa gamme de produits, parce qu'il était arrivé aux mêmes conclusions. Notre objectif était d'élaborer des méthodes pour soumettre les SP à des expériences, mesurer leurs propriétés physiques pertinentes sur le plan environnemental, déterminer leur potentiel toxique pour les plantes et animaux aquatiques et surveiller leur présence dans l'environnement canadien.

Nous avons formé une équipe scientifique interdisciplinaire et avons intégré des analogues structuraux de façon que les connaissances acquises puissent être facilement applicables à des catégories apparentées de substances chimiques. Nous avons établi un ensemble de méthodes d'analyse chromatographique et spectroscopique pour détecter les SP visés dans l'eau, l'air, le biote et le sol, et nous les avons appliquées tout au long de l'étude. La méthode principale fait intervenir la chromatographie en phase liquide associée à un système de spectrométrie de masse qui nous donne des données extrêmement sensibles et précises, quoique d'autres méthodes, dont la chromatographie en phase gazeuse et la RMN au fluor se soient révélées essentielles pour combler certaines lacunes dans les connaissances. Nous avons mesuré les propriétés physiques de la bioconcentration et de la bioaccumulation, la sorption par les sédiments, la pression de vapeur et la constante de la loi de Henry pour une série de carboxylates et sulfonates perfluorés. Nous avons obtenu des renseignements précis sur l'influence que la « perfluoration » a sur ces propriétés physiques. Nous avons appris que, malgré la charge négative complète sur les carboxylates et les sulfonates, la propension à se bioconcentrer dans le poisson et à se lier aux sédiments s'élève à mesure que la chaîne perfluorée s'allonge; chaque groupe de CF_2 supplémentaire multiplie la bioconcentration par 10. La détermination de la pression de vapeur a montré que la queue perfluorée donnait à ces molécules et à d'autres composés perfluorés apparentés une volatilité étonnamment élevée. Les études de dégradation ont montré que les carboxylates et sulfonates perfluorés sont inertes même dans des conditions extrêmes d'oxydation ou de réduction. Les études de toxicologie en milieu aquatique menées en laboratoire et sur le terrain, dans lesquelles des ensembles complets de plantes et d'animaux aquatiques étaient exposés à des SP seuls ou en mélanges, ont indiqué que la toxicité était généralement faible (ppm) mais variait en fonction de la longueur de la chaîne et de la fonctionnalité polaire. La surveillance sur le terrain a montré que ces substances chimiques étaient très répandues chez les animaux aquatiques (ng/g) dans les eaux de surface (ppq-ppt) et dans l'atmosphère (10-100 pg/m^3) et révélé dans les zones contaminées des valeurs entre 10 et 100 fois supérieures qui approchaient le seuil de nocivité. Nos mesures sur le terrain du biote ont révélé la présence inat-

tendue de perfluorocarboxylates à chaine plus longue et de facteurs plus élevés de bioaccumulation que ne l'indiquaient les études en laboratoire. Cela peut signaler que l'origine de ces substances est plus diverse qu'on ne le croyait. L'identification et la quantification d'alcools neutres à base de sulfonate de perfluorooctane dans les échantillons atmosphériques confortent notre théorie que ces substances appliquées en surface sont probablement à blâmer pour la diffusion planétaire de ce sulfonate.

La recherche est importante parce que la perfluoration est à l'origine de propriétés particulières qui entrent en jeu dans le devenir, le mode d'élimination, la persistance et la toxicité. Nous avons fait des découvertes fondamentales à l'égard de chacun de ces aspects. Les SP constituent une nouvelle catégorie de polluants organiques persistants; en fait, ils redéfinissent ce qu'est la persistance dans l'environnement.

Modélisation de l'utilisation durable des produits chimiques organiques dans un environnement continental sain

Donald Mackay, Matthew MacLeod, Dave Woodline, Jenn Brimacombe, Liisa Toose, Merike Perem, Eva Webster et Todd Gouin

Canadian Environmental Modelling Centre, Université Trent, Peterborough (Ontario) K9J 7B8

Notre étude vise principalement à améliorer la capacité de comprendre et de prévoir comment des produits chimiques – dont les pesticides – utilisés à des endroits aussi éloignés que le Mexique ou l'Alabama sont transportés jusqu'au Canada où ils peuvent contaminer les écosystèmes aquatiques et terrestres. Des programmes informatiques et des modèles de bilan massique ont été développés pour tenter de prévoir le comportement futur de ces produits chimiques. Utilisés largement et avec succès, ces modèles ont permis d'évaluer comment les produits chimiques se répartissent dans les différentes composantes de l'environnement – l'air, l'eau, le sol, les sédiments, la végétation, les poissons – , où et à quelle vitesse ils risquent de se décomposer, jusqu'où ils seront transportés et, en bout de ligne, quelle sera leur concentration dans les différentes composantes de l'écosystème, y compris les aliments. Le principe de base est qu'on n'arrivera à contenir la dispersion à grande échelle de ces produits chimiques dans l'environnement qu'au prix d'une concertation internationale visant à réduire les émissions polluantes.

Pour examiner de plus près la situation en Amérique du Nord et les produits chimiques persistants qui risquent le plus d'être transportés au Canada, l'Université Trent, en collaboration avec l'Université de Californie à Berkeley, a développé un modèle de prévision du sort de ces produits dans les écosystèmes nord-américains. Des données telles que la région, le type de sol et les conditions climatiques ont été consignées sous forme de système d'information géographique (SIG) pour 24 régions écologiques principalement délimitées par les bassins hydrographiques. Le premier composé chimique examiné par cette étude a été le toxaphène; d'autres produits préoccupants suivront.

Le toxaphène est un pesticide organochloré persistant qui a été épandu sur les cultures de coton dans le Sud des États-Unis, mais qu'on retrouve dans les Grands Lacs. Nous avons estimé les émissions annuelles de toxaphène entre 1945 et 2000 pour chaque région modélisée. Dans les régions de grande utilisation du Sud des États-Unis, la concordance est satisfaisante entre les résultats du modèle et les concentrations signalées dans l'air et le sol. Autour des Grands Lacs, les résultats du modèle concordent bien avec les concentrations signalées.

Nous avons élaboré deux modèles complémentaires. Le premier sert à classer les substances chimiques en fonction de leur persistance et de la possibilité qu'elles soient transportées sur de grandes distances, qui sont des aspects capitaux pour les autorités de réglementation qui doivent imposer des restrictions à l'égard de produits chimiques. Le deuxième modèle porte sur la bioaccumulation dans les organismes vivants et les réseaux alimentaires. Il se fonde sur les concentrations dans les milieux abiotiques (atmosphère, eau, sol et sédiments) pour calculer les concentrations dans la végétation, les organismes limicoles, les poissons, les mammifères, les oiseaux et les animaux d'élevage. L'ensemble complet de concentrations peut ensuite servir à établir un modèle d'exposition humaine qui calcule la quantité quotidienne d'une substance chimique à laquelle une personne sera vraisemblablement exposée dans chaque composante de l'environnement et les émissions de chaque

substance dans n'importe laquelle des régions modélisées.

Ensemble, ces modèles servent de point de départ pour prévoir la façon dont les substances chimiques se comporteront en Amérique du Nord, pour comprendre les données obtenues des programmes de surveillance et pour déterminer quelles sont les substances les plus préoccupantes.

Suivi d'enfants d'âge préscolaire exposés aux PCB et au MeHg par la consommation de poisson

Gina Muckle[1], Éric Dewailly[1], Pierre Ayotte[1], Célyne H. Bastien[2], Anne Beuter[3], Marie-Sylvie Roy[4], Annie Veilleux[5]
[1] Centre hospitalier universitaire de Québec (CHUQ), pavillon CHUL et Université Laval; [2] Université Laval; [3] Université du Québec à Montréal; [4] Hôpital Sainte-Justine; [5] Université de Montréal

Les effets de l'exposition prénatale aux polychlorobiphényles (PCB) et au méthylmercure (MeHg) occasionnés par la consommation de poisson ont fait l'objet d'études dans des populations de divers pays. Ces expositions ont été reliées à des déficits du développement neurocomportemental durant la petite enfance. Cependant, seules deux études ont porté sur les enfants d'âge scolaire, et elles ont apporté peu de renseignements sur la neuromotricité et la neurophysiologie. L'une d'elles comprenait des tests de neurophysiologie auprès d'enfants d'âge scolaire exposés au MeHg, mais elle est demeurée incomplète. En outre, aucune étude n'a visé les déficits cognitifs entraînés par l'exposition au MeHg en examinant le potentiel évoqué cognitif (réaction électrique du cerveau à des événements cognitifs).

Notre étude vise à examiner les conséquences neuromotrices et neurophysiologiques à l'âge préscolaire de l'exposition en période prénatale à des contaminants de l'environnement comme les PCB et le mercure. Nous nous proposons de pousser la recherche en étudiant les effets à long terme et les domaines d'effets négligés par la plupart des études antérieures. Nous nous intéressons particulièrement aux effets de l'exposition sur les mesures terminales neurophysiologiques et neurologiques qui pourraient être reliées à des difficultés et à des handicaps d'apprentissage. Les enfants d'âge préscolaire du Nunavik constituent le groupe visé. Notre étude précisera les incidences des contaminants de l'environnement sur les capacités cognitives et le potentiel d'apprentissage des enfants, et aussi fournira des renseignements à jour sur les problèmes visuels, auditifs et neurologiques relevés chez les enfants du Nunavik.

Notre échantillon comprend 103 Inuits du Nunavik âgés de 5 ou 6 ans. Nous avons étudié l'exposition prénatale aux PCB et au MeHg par l'analyse du sang du cordon ombilical au moment de la naissance. Nos groupes sont comparables sur le plan socio-économique.

Nous avons effectué un examen neurologique et évalué les neuromotricités fine et globale ainsi que le système visuel et les fonctions cognitives et attentionnelles. Nous avons évalué les éventuels facteurs de confusion d'ordre démographique, sociofamilial et biologique en interrogeant les mères et en analysant le sang. Nous avons dû rejeter les résultats électrophysiologiques (potentiels évoqués cognitif et visuel) d'environ 35 % des enfants, en raison de problèmes physiques et culturels (p. ex. déficits auditifs, manque d'attention durant les tests, difficulté à comprendre les instructions relatives aux tests).

Comme nous procédons actuellement à la réduction des données, nous n'avons pas encore de résultats à présenter en regard des objectifs de l'étude.

Sources, transport à grande distance et incidences de POP nouveaux et anciens d'après les sédiments et les eaux lacustres

Derek Muir[1], Brian Scott[1], Christine Spencer[1], Camilla Teixeira[1], Fan Yang[1], Xiaowa Wang[1], Marianne Douglas[2], Reinhard Pienitz[3], John Smol[4], Warwick Vincent[3], Frank Wania[2]
[1]Institut national de recherche sur les eaux, [2] Université de Toronto, [3] Université Laval, [4]Université Queens

L'étude visait à déterminer les apports passés et présents de polluants organiques persistants (POP), dont les PCB, ainsi que les apports d'éventuels POP nouveaux dans les systèmes d'eaux douces du Canada par l'analyse de carottes datées de sédiments et des eaux de surface des lacs. En recueillant des carottes de sédiments dans une vaste région géographique, nous avons pu examiner les tendances latitudinales et longitudinales du dépôt et de la migration de certains POP. Les renseignements obtenus pourront servir à préciser et à étalonner les modèles de dépôt et de transport à grande distance des POP et à établir quels sont les nouveaux POP les plus préoccupants pour les organismes aquatiques en Amérique du Nord.

Nous avons prélevé des carottes de sédiments de 28 lacs dans le Sud et le Nord du Canada et le Nord-Est des États-Unis, le long d'un transect nord-sud à 75° de longitude ouest environ et d'un transect est-ouest entre le 45e et le 50e degré de latitude nord. Nous avons effectué les prélèvements dans une zone profonde de chaque lac où les matières déposées sont susceptibles de s'accumuler. Nous avons coupé les carottes en tranches de 0,5 ou 1 cm d'épaisseur, puis avons analysé les tranches qui montraient un taux de sédimentation constant, d'après le profil du radio-isotope ^{210}Pb, et présentaient une masse assez importante. Pour ce qui est de l'eau, nous avons prélevé des échantillons de fort volume (19 L) en surface (à 1 m de profondeur) dans 30 lacs (en 1999-2001), y compris tous ceux où nous avons prélevé des sédiments et ceux où nous n'avons pu prélever de sédiment ou dont nous n'avons pu dater les carottes.

Nous avons analysé les sédiments à la recherche de POP, y compris d'anciens pesticides organochlorés (p. ex. DDT, toxaphène) et des composés industriels (PCB, chlorobenzènes) maintenant interdits, ainsi que des ignifuges actuellement en usage (p. ex. ignifuges bromés, paraffines chlorées à chaîne courte et moyenne). Nous avons fait les extractions des échantillons d'eau en nous servant d'une colonne de résine en salle propre pour éviter la contamination par les POP présents dans l'air ambiant. Nous avons dosé dans l'eau des pesticides chlorés et organophosphorés (p. ex. endosulfan, disulfoton) et des herbicides à la triazine (p. ex. atrazine) actuellement en usage en couplant la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse. Dans d'autres échantillons d'eau, nous avons mesuré les concentrations d'acides haloacétiques et de surfactants au perfluorocarboxylate. Nous avons aussi effectué des analyses chimiques de l'eau (pH, carbone organique dissous, phosphore total, etc.).

Les principaux pesticides actuels trouvés dans les eaux lacustres ont été l'atrazine, le métolachlore, l'alachlore, le Dacthal et le disulfoton. Bien que l'atrazine et le métolachlore soient appliqués uniquement dans les zones de culture du maïs, nous en avons décelé en faibles concentrations (ng/L) dans des lacs éloignés situés hors des secteurs agricoles (dans le N.-O. de l'Ontario, du Québec et du Nouveau-Brunswick et au Labrador) et en concentrations beaucoup plus élevées dans des lacs près ou dans des secteurs agricoles (Simcoe, Cayuga, Seneca).

L'acide trifluoroacétique, produit final de la dégradation dans l'atmosphère des HCFC employés comme frigorigènes (entre autres sources), composé très persistant, a été décelé dans toutes les eaux lacustres à des concentrations de l'ordre du ng/L. Les concentrations ont révélé un gradient latitudinal, les valeurs étant plus élevées dans les lacs ontariens que dans ceux du Nord de la Saskatchewan ou de l'Extrême-Arctique. Nous avons décelé des surfactants au perfluorocarboxylate à faibles concentrations (ng/L) dans plusieurs lacs éloignés (notamment dans le parc des Adirondacks et dans le Nord du Manitoba), ce qui indique que la dispersion de ces substances chimiques est sans doute plus grande qu'on ne le pensait.

Nous avons trouvé que les dépôts de PCB et de composés apparentés au DDT étaient plus importants dans les lacs ontariens et new-yorkais et diminuaient sensiblement en remontant vers le Nord. Les taux de dépôt de ces substances étaient environ 25 fois plus faibles au 80e degré nord, dans l'Extrême-Arctique, qu'au 45e degré nord dans le Sud du pays. Nous avons décelé des ignifuges bromés dans les carottes prélevées dans l'Arctique et aux latitudes moyennes, les dépôts pouvant être jusqu'à 1000 fois supérieurs dans le Sud.

Nos résultats ont confirmé ceux d'études antérieures des dépôts de PCB et de DDT dans des lacs éloignés du Canada et montré, pour la première fois, la présence de plusieurs nouveaux contaminants chimiques et bioaccumulatifs dans les sédiments et l'eau des mêmes lacs. Les renseignements obtenus aideront à évaluer quelles nouvelles substances chimiques sont susceptibles de présenter un risque pour les milieux aquatiques du Canada et à déterminer lesquelles pourraient éventuellement être inscrites comme POP.

Bioamplification des polluants organiques persistants et du mercure dans les poissons des pêches de subsistance et les réseaux trophiques d'eau douce au Canada

D.C.G. Muir[1], X. Wang[1], K.G. Drouillard[2], G.D. Haffner[2], M.S. Evans[3], K.A. Kidd[4], M.R. Anderson[5], J.F. Payne[5], W.L. Fairchild[6], S.J. Guildford[7], D.M. Whittle[8]

[1] Institut national de recherche sur les eaux (Burlington, Ont.); [2] Université de Windsor (Windsor, Ont.); [3] Institut national de recherche sur les eaux (Saskatoon, Sask.); [4] Institut des eaux douces (Winnipeg, Man.); [5] Pêches et Océans (St. Johns, T.-N.); [6] Pêches et Océans (Moncton, N.-B.); [7] Université de Waterloo (Waterloo, Ont.); [8] Pêches et Océans (Burlington, Ont.)

Notre étude consiste à examiner les concentrations de substances toxiques persistantes et bioaccumulatives, dont les PCB, le DDT, le toxaphène et le mercure, chez les poissons grands prédateurs et dans leurs réseaux alimentaires, dans les lacs nordiques du Canada, du Nord de l'Alberta jusqu'au Labrador. Beaucoup de ces lacs connaissent une importante pêche de subsistance autochtone. Nous avons choisi cette région géographique parce qu'elle est actuellement peu étudiée en comparaison des régions des Grands Lacs et de l'Arctique (au nord du 60° de latitude nord), où on a effectué de nombreuses mesures des polluants organiques persistants (POP) et du Hg. Nous prélevons et analysons des poissons et d'autres organismes de la chaîne trophique dans des lacs du Nord de la Saskatchewan, du Nord-Ouest de l'Ontario, du centre de l'Ontario, du Labrador et du centre du Nouveau-Brunswick. L'échantillonnage est coordonné par des membres de l'équipe d'étude dans chaque région, qui travaillent avec les collectivités locales et les agents des pêches provinciaux et fédéraux. Nous étudions au total 36 lacs sur trois ans. Dans 29 des lacs, le touladi constitue le prédateur supérieur; dans 8 lacs, l'omble de fontaine, le doré jaune et le brochet sont au sommet de la chaîne. Dans 18 des lacs, nous examinons le cheminement des POP dans la chaîne alimentaire en prélevant des poissons-fourrages (perchaude, ciscos, grand corégone, éperlan), du zooplancton, des amphipodes (mysis) et des invertébrés benthiques. Nous étudions les facteurs qui peuvent servir à prévoir quels lacs ont des poissons très contaminés, notamment la longueur de la chaîne trophique, les habitudes alimentaires, les taux de croissance et d'alimentation, le spectre de taille et la valeur nutritive du microplancton, l'état trophique du lac, et la présence ou l'absence de certains invertébrés planctoniques et benthiques.

Au terme de l'étude, nous aurons mesuré la concentration de PCB et de pesticides organochlorés dans quelque 600 échantillons de poissons et d'invertébrés. Les composés apparentés au DDT (sDDT) ainsi que les PCB et le toxaphène sont les principaux organochlorés trouvés dans les échantillons de poisson entier. Les concentrations moyennes de sDDT dans le touladi vont de 4 à 1 410 ng/g en poids humide; elles sont généralement plus haut dans les lacs les plus au sud, quoique les concentrations soient étonnamment élevées dans le lac Wabush, au Labrador. Nous avons trouvé les plus fortes teneurs en PCB chez les touladis des lacs du Sud de l'Ontario et de la partie nord de l'État de New York, et nous avons observé une relation significative entre les concentrations et la latitude.

Outre les organochlorés persistants, nous déterminons la présence d'éthers diphényliques bromés (ignifuges très répandus) dans un sous-ensemble de lacs. Nous avons mesuré des concentrations d'endosulfan et de lindane, pesticides dont la persistance dans l'environnement et la toxicité sont préoccupantes, de l'ordre de < 0,1-0,8 ng/g en poids humide pour l'endosulfan et de < 0,1-0,6 ng/

g en poids humide pour le lindane. Nous avons trouvé les plus fortes concentrations d'endosulfan chez les truites de l'Est du Canada, surtout des lacs du Labrador, et de lindane dans le poisson du Nord de la Saskatchewan. Ces résultats s'accordent avec les utilisations connues : l'endosulfan est le plus utilisé dans l'Est du Canada, tandis que le lindane est surtout employé en Saskatchewan.

Nous avons mesuré la présence de mercure dans 700 échantillons de muscle prélevés sur les poissons qui ont servi à l'analyse des POP ainsi que dans d'autres échantillons. Les concentrations de mercure variaient entre 0,13 et 1,3 :g/g en poids humide et elles étaient sensiblement différentes d'un lac à un autre. Pour environ 10 % des poissons échantillonnés, la concentration dépassait celle établie dans la directive canadienne pour la consommation, soit 0,5 :g/g en poids humide. Dans un même lac, les concentrations de mercure étaient les plus fortes chez les individus plus gros et plus âgés. Les concentrations moyennes (rajustées en fonction de la longueur) étaient sensiblement plus élevées chez les poissons (touladi, doré jaune, omble de fontaine) des lacs de l'Est du Canada et inversement liées à la longitude. Nous n'avons pas trouvé de rapport entre les concentrations rajustées de mercure et la taille, la chimie, la profondeur ou la latitude des lacs.

Notre étude a fourni les renseignements de base sur les concentrations de POP et de mercure dans le poisson qui vit dans des régions dont la contamination a été relativement peu étudiée. Ces renseignements constituent un des ensembles de données sur les contaminants du poisson les plus importants qui aient été obtenus à partir d'une seule étude. Les résultats seront affichés dans un site Web au cours de 2002. Ils montrent que les POP continuent d'être des contaminants préoccupants chez les poissons prédateurs supérieurs des lacs canadiens autres que les Grands Lacs. Les sources locales passées (DDT) sont sans doute plus importantes qu'on ne l'avait cru. Une partie de la variation des concentrations de POP et de mercure d'un lac à un autre peut s'expliquer par la distance des sources; ainsi, les concentrations de sDDT et de PCB diminuent du sud au nord, tandis que celles du mercure augmentent d'ouest en est.

Effets sur la reproduction et le développement de l'exposition in utero aux POP

B.Robaire (chercheur principal)*, J.Brawer*, G.Cooke**, D.Cyr***, B.Hales*, L.Hermo*, C. Morales* et J. Trasler*
*Université McGill, **Santé Canada, ***INRS-Armand Frappier

Les polluants organiques persistants (POP) sont des substances stables, très solubles dans les graisses, qui s'accumulent dans l'environnement et dans la chaîne alimentaire. Il a été montré que les organochlorés dans les aliments et dans l'environnement nuisent à la fertilité chez les humains et les espèces sauvages et dans les modèles d'animaux de laboratoire. De nombreux POP, dont les organochlorés, sont interdits au Canada depuis les années 1980, mais ils demeurent en fortes concentrations à plusieurs endroits. Les habitants de l'Arctique sont exposés à de fortes teneurs d'organochlorés dans leur alimentation. Nous avons fait l'hypothèse que l'exposition *in utero* à un mélange d'organochlorés et de polychlorobiphényles, qu'on retrouve dans la nourriture des Inuits qui vivent dans l'île Broughton, aurait des effets nocifs sur le développement des gonades et de l'appareil reproducteur.

Pour déterminer les conséquences de l'exposition aux POP sur le développement fœtal, ainsi que sur les fonctions des gonades, de l'appareil reproducteur et de la thyroïde, on a exposé aux POP des groupes de rates Sprague-Dawley adultes durant les jours 0 à 20 ou 8 à 20 de la gestation (n = 12/groupe). Durant chacune de ces périodes d'exposition, quatre groupes de femelles gravides ont été gavées par administration du véhicule (dose 0) ou de 10, 100 ou 1000 fois la dose correspondant à l'apport de POP dans le régime alimentaire. En suivant ce protocole, nous avons fait deux expériences : 1) nous avons euthanasié des rates au 20e jour de gestation et avons évalué l'issue de la grossesse, l'aspect histologique des gonades, le profil d'expression génétique du foie et des gonades de la mère et du fœtus et le développement de la thyroïde; 2) nous avons laissé des rates accoucher normalement et avons surveillé le développement des ratons jusqu'à l'âge adulte, pour ensuite faire une étude systématique des marqueurs généraux de la toxicité ainsi que de certains biomarqueurs dans des organes importants. Nous avons découvert que les concentrations des éléments du mélange de POP étaient entre 10 et 500 fois plus élevées au 20e jour de la gestation dans le foie des rates traitées que dans le foie des animaux témoins. Nous n'avons pas relevé d'effets de l'exposition aux POP sur le nombre de grossesses, les pertes avant ou après implantation, le poids des fœtus, le ratio mâle-femelle ou l'incidence de malformations structurelles. L'évaluation histologique des ovaires fœtaux au 20e jour de gestation a révélé une réduction du nombre d'ovocytes et une augmentation de la mort cellulaire apoptotique; dans les testicules, le nombre de cellules de Sertoli par rapport au nombre de cellules germinales était considérablement augmenté. De plus, l'analyse au microscope électronique a montré que l'enveloppe du noyau des cellules germinales était fortement convolutée et crénelée chez les animaux auxquels on avait administré une forte dose.

Nous avons isolé l'ARN du foie et des gonades de la mère et du fœtus pour établir le profil d'expression génétique. Le principal effet de l'accumulation des POP a été la diminution du nombre de gènes exprimés dans le foie maternel, qui peut s'expliquer par l'inhibition de la transcription ou une moindre stabilité de transcription. Nous avons trouvé peu d'effets sur l'expression génétique dans les foies de fœtus. Plusieurs gènes de la famille des cyclines étaient réduits dans les ovaires fœtaux mais augmentés dans les testicules; des gènes d'enzymes stéroïdogènes importants étaient réduits dans les testicules fœtaux et exprimés très faiblement dans les ovaires fœtaux.

Des doses de POP qui n'ont pas eu d'effet toxique sur les mères ont provoqué un retard de croissance chez les ratons mâles et femelles avant le sevrage et chez les femelles après le sevrage. L'exposition *in utero* aux POP a entraîné un retard dans les marqueurs du développement chez les ratons mâles et femelles, n'a pas eu d'effet sur l'âge où le vagin s'ouvrait, mais a retardé sensiblement l'âge du premier œstrus, ce qui fait supposer que les POP sont bien des perturbateurs du système endocrinien.

Les données que nous avons obtenues montrent que l'exposition *in utero* à un mélange de POP trouvé dans l'alimentation nuit chez les rats à l'expression des gènes du foie maternel, au développement des gonades et au développement postnatal. Comprendre les mécanismes par lesquels des mélanges de POP perturbent le système endocrinien nous donnera de nouveaux moyens d'évaluer les risques pour les humains.

Effets perturbateurs sur la fonction endocrinienne de polluants organiques persistants chez des orques du Pacifique en liberté

Peter S. Ross

Les orques se trouvant en haut de la pyramide alimentaire océanique, ils sont vulnérables à certains des polluants que les humains ont produit au cours des soixante dernières années. Les « polluants organiques persistants » (POP) sont particulièrement préoccupants. Il s'agit d'une catégorie fourre-tout qui comprend de nombreuses substances chimiques huileuses qui ne se décomposent pas facilement dans l'environnement. Les POP englobent les polychlorobiphényles (PCB), les dioxines et de nombreux pesticides comme le DDT. Bien que nombre de ces substances soient interdites au Canada, elles restent préoccupantes : les espèces sauvages continuent d'être exposés à des concentrations inquiétantes, parce que les POP sont persistants, qu'ils sont toujours libérés par des sites d'enfouissement au Canada et qu'ils continuent d'être employés dans d'autres régions du monde, et en raison de leurs caractéristiques chimiques. Dans certaines régions, la santé des animaux a été altérée, les systèmes reproducteur, endocrinien et immunitaire étant particulièrement vulnérables aux effets de ces substances.

Nous étudions les effets possibles de fortes concentrations de POP chez les orques du Pacifique en mesurant plusieurs paramètres de santé dans de très petits échantillons de peau et de graisse prélevés à l'aide de fléchettes. Nous avons récemment découvert que ces orques étaient fortement contaminés par les PCB. Comme les substances qui nous intéressent sont liposolubles, nous pouvons facilement en mesurer les concentrations dans la graisse. De plus, nous avons mis au point plusieurs moyens de mesurer la « santé » des orques en mesurant les concentrations d'enzymes et d'hormones dans nos échantillons de graisse et de peau. Étant donné que des facteurs naturels et anthropiques (chimiques) peuvent nuire à la santé des animaux sauvages, un aspect important de nos travaux a été de documenter les effets de l'âge, du sexe, de l'alimentation et de la condition dans nos mesures de la santé.

Nous avons aussi prélevé des échantillons de plusieurs autres espèces qui entrent dans l'alimentation des orques (poissons, mammifères marins). Grâce à la mesure des POP dans ces proies, nous comprendrons mieux d'où viennent les substances chimiques trouvées dans les orques. Nous avons découvert que certaines substances sont facilement décomposées et éliminées par les orques, contrairement à d'autres. Des travaux comme ceux-ci nous aideront à comprendre pourquoi les substances chimiques présentent peut-être la plus grande menace pour la santé des orques.

Enfin, nous avons élaboré un modèle pour prévoir les concentrations de différentes substances chimiques dans les orques au large de la Colombie-Britannique à tout moment (passé ou à venir). Il donnera aux gestionnaires gouvernementaux un outil puissant pour comprendre à quel rythme la situation des orques pourrait s'améliorer si nous arrêtons d'utiliser une substance chimique donnée. Parce qu'ils occupent le sommet de la chaine alimentaire du Nord-Est de l'océan Pacifique, les orques sont les « canaris » de l'océan; ils montrent quelles substances chimiques peuvent constituer un risque pour la santé des espèces sauvages et de certains consommateurs humains.

Évaluation des effets possibles de l'exposition à des contaminants sur les appareils endocrinien et reproducteur du béluga (*DELPHINAPTERUS LEUCAS*) et de l'ours blanc (*URSUS MARITIMUS*)

Sang Susan, Michael Kwan, Muir Derek, Daniel Ledair, Mikaelian Igor

Depuis dix ans, les chasseurs, trappeurs et pêcheurs inuits signalent que les animaux qu'ils prennent ont de multiples anomalies, dont la cause est souvent inconnue. Cependant, dans les collectivités arctiques, on blâme les contaminants de l'environnement – polluants organiques persistants (POP), métaux lourds et radionucléides. Mais le lien est difficile à établir entre ces contaminants et les anomalies observées.

En 1999, le Fonds mondial pour la nature (Canada) (WWF) et le Centre de recherche du Nunavik ont entrepris une étude communautaire d'échantillonnage et de surveillance du béluga et de l'ours blanc au Nunavik. L'objectif est de mieux comprendre le rapport entre l'exposition aux contaminants et les effets sur la santé des animaux. Nous comptions étudier la concentration de polluants organiques persistants (POP) et de métaux lourds et examiner les infections parasitaires et les lésions histologiques dans les appareils reproducteur et endocrinien des bélugas et des ours blancs chassés dans quatre collectivités du Nunavik. En raison des difficultés pour obtenir des échantillons d'ours, nous nous concentrons maintenant uniquement sur le béluga.

La première année (1999-2000), nous avons prélevé des échantillons d'organes et de tissus de 15 bélugas pour analyser les contaminants et faire des examens pathologiques et histologiques.

Les résultats de l'analyse des contaminants ont confirmé que les PCB étaient les principaux organochlorés dans la graisse du béluga, suivis du DDT et de composés apparentés au chlordane. On a trouvé des concentrations plus fortes de tous les grands groupes d'organochlorés, exception faite des HCH totaux, dans la graisse des mâles (n=8) que dans celle des femelles (n=2). De même, nous avons trouvé de fortes concentrations de métaux lourds dans divers tissus. Les concentrations de mercure étaient le plus élevées dans le foie et les reins. Nous avons aussi relevé de fortes concentrations de cadmium dans les reins. Les concentrations de plomb et d'arsenic étaient généralement faibles dans tous les tissus. C'est dans les échantillons de peau et de foie que nous avons trouvé le plus de sélénium.

Nous avons aussi recherché les signes d'infections parasitaires et examiné la thyroïde et les gonades des bélugas pour y déceler des anomalies histologiques. D'après les observations sur le terrain et les évaluations microscopiques, la plupart des bélugas pris étaient sains. Cela dit, nous avons noté certaines anomalies qui mériteraient sans doute d'être étudiées. Ainsi, nous avons relevé la présence possible d'une infection parasitaire chez trois bélugas, l'absence d'œufs dans l'ovaire d'un autre et la présence présumée de kystes parasitaires dans l'appareil génital de quatre spécimens (une femelle et trois mâles).

Effets neurotoxiques chez une communauté autochtone exposée aux PCB

Harold Schwartz

Le mode de vie traditionnel des Premières Nations comprend une grande consommation d'aliments locaux, dont le poisson et le gibier. Ces habitudes alimentaires, intrinsèquement saines, peuvent faire courir aux Autochtones un plus grand risque d'exposition aux polychlorobiphényles (PCB), au DDE, au méthylmercure et à d'autres contaminants lorsque leur environnement est pollué. Notre étude avait pour objectif d'évaluer si des déficits neurocomportementaux pouvaient être rattachés à l'exposition aux PCB dans une collectivité autochtone de la zone de Sioux Lookout, dans le Nord de l'Ontario. Comme il peut y avoir d'autres contaminants avec les PCB, nous avons aussi évalué les effets possibles du *p,p'*-DDE et du mercure et étudié des relations additives possibles avec les PCB. Nous avons recruté les participants à partir d'une liste de 101 noms choisis au hasard dans une étude d'évaluation de l'exposition effectuée par Santé Canada en 1999 dans la même collectivité. Au total, 54 personnes (53,5 %) de ce groupe ont participé à nouveau. Nous avons recruté 45 autres personnes de la collectivité ayant des caractéristiques sociodémographiques analogues à celles des personnes qui ne se sont pas présentées à nouveau. Le groupe d'étude définitif comprenait 50 hommes et 49 femmes. Les participants ont donné des échantillons de sang et de cheveux, se sont prêtés à des tests des fonctions cognitives, motrices et sensorielles et ont répondu à des questionnaires portant notamment sur l'alimentation, les caractéristiques sociodémographiques, le mode de vie, le passé médical, les symptômes de maladie et la qualité de vie. Nous avons dosé 8 congénères des PCB, l'Aroclor 1254 et 1260 ainsi que le *p,p'*-DDE dans les échantillons de sang et mesuré le mercure (Hg) total dans les échantillons de cheveux au laboratoire de la Direction générale de la santé des Premières Nations et des Inuits (Santé Canada). Nous avons appliqué aux analyses statistiques diverses stratégies multivariables pour contrer les effets des variables confondantes, comme l'âge et l'éducation, qui sont étroitement corrélées l'une à l'autre, aux bioindicateurs d'exposition et aux résultats de la batterie de tests. Les personnes chez qui nous avons trouvé des concentrations de PCB élevées pour leur âge ont sensiblement moins bien réussi les tests cognitifs évaluant la planification et l'organisation visuospatiales. Les personnes du 75^{e} centile supérieur d'exposition à l'Aroclor 1260 pour leur catégorie d'âge avaient 5 fois plus de chances de se trouver dans le 25^{e} centile inférieur pour leur catégorie d'âge quant aux résultats d'un test qui exige de copier une figure complexe : risque relatif (RR) = 4,99 [1,72 – 14,52]. Les personnes les plus âgées accusaient les plus grands déficits. Dans un test de l'attention visuelle et du délai de réaction, les personnes les plus exposées à l'Aroclor 1260 avaient 3 fois plus de chances de se retrouver dans le 25^{e} centile inférieur pour ce qui est des résultats dans leurs catégories d'âge : RR = 3,00 [1,03 – 8,76]. De même, les personnes dans le 75^{e} centile supérieur d'exposition pour leur âge avaient 4 à 5 fois plus de chances de se retrouver dans le groupe le plus lent sur le plan de la dextérité manuelle, mais non pour ce qui était des autres tests de motricité ou des tests sensoriels. Les concentrations de *p,p'*-DDE dans le sérum se rattachaient aussi à de moins bons résultats dans de nombreux tests cognitifs ainsi que dans certains tests de psychomotricité. Les concentrations de Hg dans les cheveux ont été reliées à de moins bons résultats dans certains tests de psychomotricité, mais des analyses exploratoires ont montré que les personnes ayant été le plus exposées aux PCB et au DDE accusaient les plus grands déficits à l'égard de certaines tâches. C'était aussi le cas pour le lien du Hg et des PCB avec le délai de réaction, ce qui suggère des effets additifs. Nous avons exa-

miné le diabète comme facteur de confusion possible, et avons découvert de façon inattendue que les concentrations de DDE étaient sensiblement plus fortes chez les diabétiques. Nous avons relevé un lien positif du diabète avec l'âge, la masse corporelle et le DDE dans le sérum, et une relation négative avec la fréquence de consommation de truite, ce qui conforte l'hypothèse que la consommation de poisson assure peut-être une protection. Le lien trouvé entre le DDE et le diabète ne nous indique pas si le DDE contribue au diabète ou si les diabétiques accumulent plus de DDE. Notre étude permet de constater que l'exposition aux PCB peut modifier les fonctions cognitives, en particulier dans le domaine visuospatial. Le DDE et/ou le mercure peuvent avoir des effets additifs. Il faudrait faire d'autres études pour examiner l'exposition aux PCB dans d'autres collectivités, les effets additifs ou synergiques possibles de contaminants multiples ainsi que l'interaction avec le diabète, dont la prévalence est forte dans les collectivités des Premières Nations.

Effets d'agents de stress multiples sur les amphibiens indigènes

Dean Thompson, Barbara Wojtaszek, Andrea Edginton, Celia Chen, Gerry Stephenson, Herman Boermans, Brendan Hickie

Les petites zones humides du Nord-Est de l'Amérique du Nord constituent des habitats essentiels pour de nombreuses espèces d'amphibiens. Elles sont susceptibles d'être contaminées par les herbicides forestiers et les dépôts acides. Dans ce contexte, nous avons entrepris des travaux en collaboration pour examiner les effets possibles d'agents de stress multiples et interactifs de deux herbicides — VISION (glyphosate) et RELEASE (triclopyr) sur des espèces indigènes d'amphibiens, soit la grenouille léopard (*Rana pipiens*) et la grenouille verte (*Rana clamitans*) dans des conditions de pH correspondant à celles du milieu. Nous avons centré les études de niveau I sur la comparaison des sensibilités de diverses espèces à divers stades biologiques en appliquant des protocoles normalisés d'essais en laboratoire. Dans les études de niveau II, nous avons examiné les interactions particulières entre herbicides, pH et disponibilité de la nourriture comme facteurs de stress possibles. Pour les études de niveau III, nous avons aménagé des enceintes dans deux écosystèmes humides différents pour examiner les effets sur les amphibiens encagés ainsi que sur les populations de phytoplancton et de zooplancton en milieu naturel. Nous nous appuierons aussi sur les résultats du niveau III pour élaborer et valider des modèles multimédias du devenir des substances chimiques afin de prévoir ce qu'elles deviendront dans des enceintes placées en milieu aquatique. Dans les recherches de niveau IV, nous avons effectué une surveillance chimique et biologique d'applications opérationnelles d'herbicides pour quantifier les concentrations d'herbicides dans diverses zones humides naturelles situées dans des sites de régénération forestière traités aux herbicides par voie aérienne ou à côté de ces sites, ou qui en sont protégés par une zone tampon.

Les résultats du niveau I indiquent que les têtards des stades tardifs sont plus sensibles que les embryons, et que les quatre espèces étudiées sont également sensibles de façon générale aux deux herbicides retenus. Les études des niveaux I et II montrent une interaction importante mais inverse des effets stressants entre le pH et les deux herbicides, un pH élevé augmentant les effets toxiques du VISION, tandis qu'un pH faible accroît la toxicité du RELEASE. Les études du niveau II donnent aussi à penser que la privation de nourriture augmente encore les effets toxiques. Dans l'ensemble, les études en laboratoire indiquent un potentiel important d'effets nocifs sous des régimes de pH et avec des concentrations d'herbicides correspondant à ceux du milieu. Les études sur le terrain confirment de façon générale que la contamination par les herbicides, le pH, le manque de nourriture et l'anoxie constituent des facteurs de stress réels et concomitants dans les écosystèmes humides forestiers. Toutefois, les effets relevés sur le terrain sont modérés par rapport à ceux qu'on aurait pu prévoir d'après les études en laboratoire. Nos travaux montrent qu'il y a des agents de stress multiples et concomitants dans les zones humides naturelles situées dans des sites de régénération forestière traités aux herbicides, ou dans leur voisinage, et que ces agents peuvent être des déterminants importants des effets globaux sur les amphibiens indigènes. D'après nos résultats, il serait nécessaire d'effectuer des études en laboratoire et sur le terrain pour caractériser pleinement le risque environnemental associé aux agents de stress anthropiques dans les milieux naturels.

Développement et mise à l'essai d'une méthode d'échantillonnage passif des polluants organiques persistants

F. Wania, Y.D. Lei et L. Shen
Université de Toronto à Scarborough
D. Muir et C. Teixeira
Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada

Afin d'établir un profil à grande échelle des polluants organiques persistants (POP) dans l'atmosphère de l'Amérique du Nord, nous mettons au point une méthode d'échantillonnage de l'air basée sur le captage passif de polluants par une résine synthétique sorbante. La quantité de POP accumulée dans un échantillonneur passif devrait augmenter de façon constante jusqu'à ce qu'elle approche du niveau de saturation. Si la capacité de rétention de l'échantillonneur est suffisamment grande, la concentration moyenne de polluants dans l'air pourra être déduite d'après la quantité accumulée et le taux d'échantillonnage. L'avantage des échantillonneurs passifs sur les autres dispositifs est qu'ils sont simples, peu dispendieux et que leur emploi n'exige ni électricité ni personnel spécialisé.

Lors d'essais en laboratoire, nous avons mesuré la capacité et le taux de captage des échantillonneurs passifs que nous mettons au point. Nous avons pu vérifier que, à température ambiante, les coefficients de sorption des POP les plus volatils sur les résines sont si élevés que les échantillonneurs passifs n'atteignent pas le niveau de saturation même après des années d'utilisation. Les essais en soufflerie nous ont fourni les informations sur les taux de captage des polluants; ces taux se sont révélés indépendants de la vitesse du vent.

Les essais sur le terrain ont entre autres permis d'analyser la cinétique de captage de divers polluants organiques persistants comme les pesticides organochlorés et les polychlorobiphényles (PCB) sur une période d'une année entière, à trois stations d'étalonnage, par un processus actif d'échantillonnage en continu de larges volumes d'air. Situées dans les régions des Grands Lacs et de l'Arctique canadien, ces stations étaient soumises à une grande variété de conditions météorologiques et de contamination atmosphérique. Les échantillonneurs ont relevé des concentrations de polluants supérieures aux valeurs de départ après quelques semaines seulement. Ces valeurs ont continué d'augmenter de façon linéaire, proportionnellement à la durée d'exposition au milieu ambiant. Nous avons observé un niveau raisonnable de concordance des résultats d'échantillonneurs utilisés en parallèle. Les taux d'échantillonnage calculés à partir des essais en soufflerie nous ont permis de convertir les quantités accumulées dans les échantillonneurs en concentrations volumétriques de polluants dans l'air. Les résultats concordaient avec les niveaux mesurés par la méthode classique d'échantillonnage actif.

Par sa simplicité et son faible coût, cette méthode permet d'envisager l'établissement de réseaux de surveillance à partir de nombreux sites, et ce, même dans des endroits éloignés. Les échantillonneurs passifs sont particulièrement appropriés à l'Arctique, aux régions de hautes montagnes ainsi qu'aux pays en développement. La faisabilité d'un tel réseau est étudié en Amérique du Nord, où plus d'une centaine d'échantillonneurs ont été mis en fonction pendant une année complète à divers emplacements au Canada, aux États-Unis, au Mexique, au Belize et au Costa Rica. Deux transects établis dans les directions nord-sud (de l'île d'Ellesmere à l'Amérique centrale) et est-ouest (de l'est de Terre-Neuve à l'ouest de l'île de Vancouver) permettent de couvrir 72 degrés de latitude et de longitude. Un troisième transect va de 0 m à 3 000 m d'altitude, de l'océan Pacifique aux montagnes Rocheuses.

Métaux

Les métaux sont des substances présentes dans la nature qui peuvent avoir certains effets nocifs sur la santé humaine et les espèces sauvages. Depuis son lancement en 1998, l'Initiative de recherche sur les substances toxiques a alloué plus de 6 millions de dollars pour le financement de 18 projets de recherche ciblant le domaine des métaux.

Pour les années financières 1999-2000 et 2000-20001, les candidats devaient accélérer les activités de recherche ayant pour but la compréhension des impacts sur la santé que causerait une exposition, les sources des chargements et l'importance toxicologique des formes spécifiques de métaux dans l'environnement.

Pour l'année financière 1999-2000, les besoins prioritaires identifiés étaient :

- Viser les formes de métaux prioritaires (espèces de mercure, plomb, cadmium) et les mélanges environnementaux qui peuvent affecter leur toxicité;
- Établir la contribution des sources naturelles et anthropiques de certaines espèces métalliques aux niveaux environnementaux ainsi que l'impact des changements globaux et régionaux dans ces sources;
- Établir les charges, les états de valence et les taux de transformation aux formes bioassimilables pour les métaux prioritaires dans l'environnement;
- Établir l'impact toxicologique et écologique des formes bioassimilables de métaux dans l'environnement;
- Étudier les effets de l'acidification sur le déchargement dans l'environnement d'espèces métalliques toxiques; et
- Élaborer des méthodes pour évaluer les effets toxiques de la consommation de produits de la chasse et de la pêche relativement à leurs avantages sociaux, nutritionnels et économiques.

Pour l'année financière 2000-2001, les besoins prioritaires identifiés étaient :

- Établir la contribution des sources naturelles et anthropiques de certaines espèces métalliques aux niveaux environnementaux ainsi que l'impact des changements globaux et régionaux dans ces sources; et
- Élaborer de nouvelles méthodes permettant d'évaluer l'importance toxicologique pour la santé humaine et l'environnement de faibles expositions aux métaux par l'entremise des chaînes alimentaires, en mettant l'accent sur les populations à risque, comme les consommateurs d'aliments traditionnels (produits de la chasse, de la pêche et de la cueillette).

Pour l'année financière 2001-2002:

Notez qu'aucun appel de proposition n'a été effectué pour l'année financière 2001-2002. Par conséquent, l'IRST n'a pas développé de besoins prioritaires pour cette période. Mentionnons, par contre, que plusieurs projets approuvés durant l'année financière 1999-2000 se poursuivront jusqu'au 31 mars 2002.

Étude de l'évolution physique et chimique des aérosols dans les panaches d'émissions de fonderie et de centrale thermique

Catharine Banic, Sam Daggupaty, W. Richard Leaitch, Henry Wong, Iain Campbell, Zdenek Nejedly, Jim Skeaff, Dogan Paktunc, Kevin Strawbridge, Clément Gariepy, Amares Chatt, Marc Lamoureux, J. Ian MacPherson, Hélène Gaonac'h, Diane Michelangeli

Environnement Canada, le Conseil national de recherches du Canada, Ressources naturelles Canada, l'Université de Guelph, l'Université du Québec, l'Université Saint Mary's, l'Université Dalhousie, l'Université McGill, l'Université York et le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, en partenariat avec les industries concernées, l'Ontario Power Generation Inc. et la Noranda Inc., ont entrepris une étude des particules et du mercure rejetés dans l'atmosphère par des sources particulières

Le Twin Otter du Conseil national de recherches du Canada a été utilisé par des chercheurs pour étudier les panaches de la centrale thermique alimentée au charbon de Nanticoke et de la fonderie de cuivre de Horne en vue de connaître les dimensions et la teneur en métaux des particules et d'identifier les espèces de mercure gazeux présentes. Il est capital de connaître ces propriétés pour déterminer les taux de dépôt des métaux présents dans les émissions. Les résultats obtenus servent à préciser les propriétés des particules dans les modèles existants de l'atmosphère.

Pour caractériser les émissions au fil de l'hiver et de l'été, 47 vols ont été effectués dans les panaches. Un vol consistait généralement à suivre le panache sur une distance de 30 km. Selon nos observations, les panaches accroissent le volume des particules dont le diamètre se situe entre 0,03 et 30 µm. Les résultats d'une étude de modélisation tridimensionnelle réalisée pour certaines périodes et conditions hivernales montrent que le dépôt en surface de particules de 0,25 à 2 µm, à moins de 100 km des sources, est négligeable, mais qu'il atteint jusqu'à 12 % dans le cas de particules d'un diamètre de 16 à 24 µm. Les particules plus petites ne retombant pas sous forme de dépôts secs, elles demeureront dans l'atmosphère jusqu'à ce qu'elles soient piégées par les nuages, processus qui peut prendre jusqu'à deux semaines. À l'heure actuelle, l'analyse des données s'attache à préciser la teneur en métaux des particules des panaches en fonction des dimensions des particules. Ainsi, dans les conditions des analyses effectuées jusqu'à maintenant, au moins 50 % du plomb présent dans les émissions de fonderie est associé à des particules de moins de 2 µm. Lorsque nous aurons terminé les analyses pour un certain nombre de métaux et pour ces deux sources, nous modéliserons de manière réaliste la transformation atmosphérique des émissions.

En plus des mesures prises par aéronef, nous avons déployé au sol un système lidar à balayage pour surveiller le comportement des panaches. Nous avons utilisé un spectromètre de corrélation COSPEC pour détecter à distance (séries chronologiques et transects de panache) le SO_2 du panache de la fonderie de cuivre. Nous avons pris des mesures sur le terrain pour caractériser les propriétés chimiques des aérosols régionaux dans lesquels les panaches étaient rejetés.

La présente étude s'inscrit dans les travaux du Réseau MITE-RN (Canadian Metals in the Environment Research Network) et a été cofinancée par l'Initiative de recherche sur les substances toxiques, le réseau MITE-RN et le Service météorologique du Canada. Elle a des liens étroits avec le programme MEDE

entrepris par la Commission géologique du Canada (CGC). Ces projets de recherche concourent à la production d'ensembles de données cohérentes qui constitueront des outils précieux pour l'évaluation internationale et nationale des risques associés aux métaux.

Effets des sédiments sur la quantité de métaux accumulée par les bivalves

Leah Bendell-Young, Margo M. Moore, Daryl Crozier, A. Jurgensen et J. King

Nous nous employons actuellement à mettre au point et à appliquer des méthodes de spectroscopie de structure fine d'absorption des rayons X (spectroscopie XAFS) faisant appel à des faisceaux de rayonnement synchrotron fournis par le Pacific Northwest Consortium Collaborative Access Team (PNC-CAT). Ces méthodes servent à déterminer les caractéristiques géochimiques de matrices environnementales complexes, comme des milieux composites bactéries-oxyde de manganèse et des sédiments naturels.

Nous nous intéressons à deux objectifs distincts mais connexes : 1) le rôle des bactéries comme médiateurs de la disponibilité des métaux pour la moule *Mytilus trossolus* et 2) l'influence de la géochimie des sédiments sur la biodisponibilité des métaux pour les organismes ingérant des sédiments. Dans le cadre de ces deux études, nous avons mis au point des méthodes de spectroscopie XAFS et nous les avons utilisées pour identifier avec précision les espèces de métaux présentes dans des matrices sédimentaires complexes, puis pour établir des liens entre cette spéciation et l'accumulation de métaux par les organismes ingérant des sédiments.

À ce jour, nous avons réussi 1) à déterminer les conditions de croissance optimale de la bactérie *Leptothrix discophora* dans plusieurs régimes d'exposition aux métaux, 2) à identifier la structure du revêtement d'oxyde de manganèse précipité sous forme de birnessite en surface de la bactérie, 3) à comparer l'exactitude des espèces de métaux-traces présentes dans des matrices complexes identifiées par les méthodes XAFS et d'extraction par voie humide; la spectroscopie XAFS a permis d'identifier la phase de sorption principale dans des sédiments naturels à faible teneur en oxydes de manganèse et 4) à déterminer le rôle des bactéries comme médiateurs de la disponibilité du plomb pour les organismes filtreurs. Selon les résultats que nous avons obtenus jusqu'à maintenant, les oxydes de manganèse qui se forment en présence de bactéries pourraient en fait réduire la quantité de métaux à laquelle un organisme filtreur est exposé par son alimentation.

Les organismes filtreurs, comme les moules, sont des espèces-clés des réseaux trophiques complexes, car c'est par leur intermédiaire que les métaux-traces sont transmis du niveau trophique primaire de la chaîne alimentaire aux niveaux plus élevés, comme celui des oiseaux et de l'homme. Il est donc extrêmement important de cerner les facteurs biologiques ou chimiques qui influent sur l'accumulation de ces métaux chez les organismes filtreurs. Nos travaux ont montré que les oxydes de manganèse (un composant inorganique des sédiments) qui se forment en présence de bactéries constituent le facteur chimique qui pourrait contribuer à réduire l'absorption de métaux par les moules. Si tel est le cas, les organismes filtreurs pourraient assimiler moins de métaux dans des milieux aquatiques à teneur importante en oxydes de manganèse que dans les milieux qui en sont dépourvus. La faculté de prévoir les conditions les plus favorables à l'accumulation de métaux par les organismes situés au centre de chaînes trophiques complexes nous aidera à déterminer les conditions dans lesquelles un maximum de métaux toxiques chemine dans la chaîne alimentaire. De ce fait, nous serons mieux en mesure de prévoir où les niveaux trophiques supérieurs, comme celui de l'homme, sont les plus menacés par une exposition à des métaux-traces toxiques dans la chaîne alimentaire (c.-à-d., les aliments qui nous y exposent!!).

Les effets du mercure sur le statut oxydatif et les fonctions neuromotrices

Éric Dewailly[1] Anne Beuter[2], Michel Plante[3], Pierre Ayotte[1], Marc Édouard Mirault[1] Daniel Lamoureux[2], Suzanne Bruneau[1], Minnie Grey[4], Jean-Philippe Weber[5]

CHUQ (CHUL) et Université Laval, Beauport, Québec; Université du Québec à Montréal; [3]Hydro Québec; [4]Comité nutrition et santé du Nunavik, Kuujjuaq, Québec; [5]Institut national de santé publique, Ste-Foy

L'objectif principal de cette étude consiste à explorer les effets du méthylmercure (MeHg) sur certaines fonctions du cerveau et sur les marqueurs de stress oxydatif. Ces mesures permettront d'en apprendre davantage sur la toxicité du mercure particulièrement en ce qui a trait aux maladies neurologiques et cardio-vasculaires. La population de l'étude consistait en deux groupes distincts. Le premier étant constitué de travailleurs employés par Hydro Québec et basés à la baie James, pêcheurs sportifs et grands consommateurs de poissons prédateurs (brochet, doré). Leur exposition au mercure est donc limitée dans le temps. Le deuxième groupe étant formé d'adultes inuits recrutés au sein de la communauté de Salluit, Nunavik. Parce que leur diète repose essentiellement sur la consommation de poissons et de mammifères marins, les Inuits sont particulièrement exposés aux contaminants de la chaîne alimentaire (organochlorés, métaux lourds).

La première collecte des données a été réalisée à la Baie James en juin 2000 avant que la saison de pêche ne débute puis, après la saison de pêche en novembre de la même année. Un total de 39 travailleurs a ainsi été rencontré à deux reprises. En plus de participer aux différents tests visant à évaluer les fonctions neuromotrices (micro-tremblements balancement postural, temps de réaction, coordination yeux-mains lors de tâche de pointage, mouvements rapide en alternance, rythme du mouvement des mains), les participants ont également fourni plusieurs échantillons biologiques qui ont permis d'une part de mesurer les concentrations de mercure (cheveux, sang) et, d'autre part, d'évaluer les différents indicateurs de stress oxydatif (sang, plasma et urine). Finalement, une entrevue visant à connaître l'histoire médicale, la prise de médicaments et certaines habitudes de vie (consommation de drogues, d'alcool et de tabac) des participants a été effectuée. La seconde collecte de données, réalisée à Salluit en février et mars 2001, a permis de recruter 125 participants. Au total, 112 individus ont complété la série de tests proposés (même série qu'à la Baie James). Par ailleurs, des prélèvements de sélénium, de BPC, de pesticides et de cannabis ont également été fait. Le sélénium est un nutriment qui, de l'avis de plusieurs chercheurs, est un anti-toxique du mercure. Quant aux BPC, pesticides et cannabis, ils ont été mesurés puisqu'ils pourraient nuire aux résultats des tests neuromoteurs s'ils sont trouvés en concentration élevée. Bien que l'analyse des échantillons et des tests neuromoteurs soit complétée, aucun résultat n'est disponible pour le moment. Une dernière étape à réaliser consiste à joindre toutes les banques de données disponibles et à réaliser des analyses plus approfondies qui permettront de répondre aux objectifs de l'étude.

Mécanisme de la néphrotoxicité du cadmium et du plomb dans les reins en développement ou adultes

Sudhir D'Souza
University of Western Ontario

Cette étude utilise la souris comme modèle pour évaluer les mécanismes de toxicité du plomb et du cadmium sur les reins en croissance et à maturité, ainsi que pour étudier les processus de réparation possibles pouvant jouer un rôle dans la régénération des reins endommagés par l'exposition au cadmium et au plomb.

Rôle des minéraux organogènes (oxydes de fer) dans la sorption des métaux-traces en milieu aquatique

D. Fortin, F.G. Ferris et G. Leppard

La mobilité des métaux toxiques dans les lacs est fortement influencée par leur immobilisation à la surface des particules minérales et biologiques. Les oxydes de fer constituent une composante mineure des sédiments lacustres, mais jouent, pense-t-on, un rôle majeur dans le cycle des métaux. Leurs caractéristiques physiques (faible granulométrie, surface importante et structure faiblement cristalline) en font des déminéraliseurs efficaces. Les oxydes de fer présents dans les sédiments lacustres peuvent résulter de réactions chimiques pures, mais également se former en présence de micro-organismes (bactéries). Puisque les bactéries sont abondantes dans les lacs, il est fort probable que des oxydes de fer se formeront à la surface de celles-ci, mais nous ne connaissons pas bien les effets des bactéries sur la formation et les caractéristiques des oxydes de fer organogènes. De plus, le rôle des oxydes de fer organogènes et des bactéries dans l'immobilisation des métaux (sorption) fait toujours l'objet de recherches.

Le présent projet de recherche avait pour but d'examiner le rôle de diverses bactéries dans la formation d'oxydes de fer organogènes dans des conditions représentatives des sédiments lacustres et de déterminer la capacité de ces oxydes de fer d'agir comme sorbant de deux métaux toxiques, le Cd et le Pb. Pour caractériser les oxydes de fer organogènes, nous avons effectué des analyses chimiques globales (identification des minéraux) et des analyses granulométriques par microscopie électronique. Nous avons réalisé des essais de sorption des métaux en laboratoire dans des conditions reproduisant un milieu aquatique naturel et avons utilisé des modèles d'adsorption appropriés pour quantifier les résultats. Selon les résultats de notre étude, la présence de bactéries (4 espèces différentes) n'a pas affecté les caractéristiques minéralogiques des oxydes de fer. Nous avons identifié l'oxyde de fer qui se formait en présence comme en l'absence de bactéries : il s'agit de la lépidocrocite, un oxyde de fer courant dans les sédiments lacustres. La présence de bactéries influait toutefois sur la taille des particules et leur indice de cristallinité. En fait, les oxydes de fer organogènes étaient plus petits que ceux qui s'étaient formés en l'absence de bactéries et présentaient un indice de structure faible. Nous avons également effectué une synthèse des oxydes de fer organogènes en présence des impuretés courantes dans les lacs (comme de la silice, du phosphate et du sulfate solubles) afin d'évaluer leur rôle dans la formation des oxydes. La présence de silice dans les divers systèmes a entraîné la formation de ferrihydrite, un oxyde de fer courant dans les sédiments, tandis que la présence de phosphate a favorisé la formation de petits cristaux de lépidocrocite semblables à ceux formés en présence de bactéries. Le sulfate était sans effet. Les résultats de ces essais de sorption des métaux montrent que les oxydes de fer organogènes et les cellules individuelles avaient une meilleure capacité de sorption du Cd que les oxydes de fer abiotiques. De plus, les oxydes de fer abiotiques avaient une plus grande capacité de sorption du Pb que du Cd. Les oxydes de fer abiotiques avaient cependant une capacité maximale de sorption du Pb semblable à celle des oxydes de fer organogènes, exception faite des oxydes de fer abiotiques formés en présence de silice.

Selon les résultats que nous avons obtenus, la mobilité du Pb et du Cd est fortement influencée par la présence de bactéries et, dans certains cas, par la présence d'oxydes de fer

organogènes. Il semble également qu'il ne faut pas négliger le rôle des bactéries dans le cycle des métaux ni leur rôle dans la formation des minéraux, notamment ceux susceptibles d'affecter la mobilité de métaux toxiques comme les oxydes de fer.

Immunotoxicité des métaux

J. Bernier, M. Fournier, E. Kouassi

Les métaux lourds sont assurément les plus préoccupants de tous les contaminants de l'environnement réputés pour leur toxicité et leur ubiquité. Selon les résultats d'études menées en laboratoire sur des animaux et des données épidémiologiques sur des cohortes humaines exposées à ces métaux dans leur milieu de travail, ces métaux peuvent affecter plusieurs systèmes et fonctions du corps. Ils peuvent aussi déclencher certains effets immunomodulateurs qui finiront par déboucher sur une sensibilité accrue aux agents microbiens et sur l'apparition de maladies néoplasiques et auto-immunes. Notre groupe a contribué à démontrer le potentiel immunotoxique des métaux chez plusieurs espèces de laboratoire et animaux sauvages et à clarifier les mécanismes de toxicité.

Les données publiées sur les effets immunotoxiques des métaux toxiques concernent souvent des concentrations supérieures à celles présentes dans l'environnement ou des teneurs plus élevées que celles présentes dans le sang humain. Puisque l'homme est exposé à un mélange de métaux toxiques, il faut évaluer les effets de l'exposition à une combinaison de substances. Comprendre les effets du mercure (Hg), du cadmium (Cd) et du plomb (Pb) sur les fonctions des cellules immunitaires humaines devrait nous aider à déterminer les risques associés à l'exposition de l'homme à des concentrations de ces métaux semblables à celles trouvées dans le sang humain. Ces connaissances devraient nous aider à élaborer des stratégies de prévention de la toxicité à long terme du Hg, du Pb et du Cd et à établir et à fixer des niveaux acceptables et sans danger de ces métaux dans le sang humain et dans l'environnement. Certaines mesures terminales de dosages *in vitro* spécifiques qui mesurent les fonctions immunitaires humorales, cellulaires et non spécifiques seront évaluées dans des cellules sanguines périphériques humaines. De plus, le projet pourrait contribuer à établir si les études immunotoxicologiques du Pb, du Cd et du Hg, souvent effectuées avec des souris et des rats ou avec des cellules de ces animaux, sont des modèles appropriés à l'homme et si elles constituent une représentation valable des effets des métaux toxiques sur les cellules immunitaires humaines.

L'objectif premier de ce programme de recherche était d'établir les doses de métaux qui, individuellement ou combinées, tuent les cellules humaines. Pour atteindre cet objectif, nous avons effectué des expériences dose/réponse. Seul le Hg s'est avéré cytotoxique à des concentrations correspondant au niveau de contamination des humains. Nous avons également établi que la forme typique de mort des neutrophiles induite par des concentrations élevées de Hg était une nécrose primaire survenant après l'apoptose. Afin de clarifier les signaux biochimiques en jeu, nous avons étudié les effets de concentrations nécrogènes de Hg sur les phénomènes intracellulaires. Les résultats obtenus montrent que les effets cytotoxiques étaient étroitement apparentés à des augmentations de la mobilisation du calcium cellulaire et à l'inhibition du potentiel de la membrane mitochondriale. Nous avons aussi caractérisé les effets des métaux sur la compétence des cellules immunitaires grâce, une fois de plus, à des expériences dose-réponse. Nous avons étudié les effets sur la compétence des lymphocytes, des cellules NK et des neutrophiles. Lors de l'analyse des résultats, il nous est apparu clairement que le mercure était le métal le plus toxique aux concentrations présentes dans le sang humain. L'exposition au mercure avait des effets plus marqués sur les lymphocytes et les cellules NK que sur les neutrophiles.

Le mercure est donc un métal dont le niveau de contamination présent dans le sang humain est très semblable au niveau de toxicité.

Solubilité et spéciation des métaux-traces dans les sols de l'est canadien

William H. Hendershot, François Courchesne et Les Evans

Les préoccupations soulevées par la contamination des sols par des métaux-traces sont étroitement liées aux craintes pour la santé humaine. La population s'inquiète également beaucoup de la dégradation générale de l'environnement que provoquera la contamination à grande échelle des écosystèmes. Ainsi, la migration de métaux-traces présents dans les sols contaminés, comme le Cd, le Hg et le Pb, vers les eaux de surface et souterraines est un processus capital régissant la qualité de l'eau potable. La liaison des métaux-traces aux particules du sol est le processus clé régissant le mouvement du Cd, du Hg et du Pb dans les sols, leur lessivage vers les étendues d'eau ainsi que leur assimilation par la végétation. Elle peut rendre les contaminants relativement immobiles et difficiles à assimiler pour la végétation. Il est tout à fait vital d'acquérir des connaissances systématiques sur les processus qui régissent le mouvement des métaux-traces pour garantir la durabilité des écosystèmes terrestres et aquatiques et pour améliorer le pouvoir prédictif des modèles utilisés à des fins de gestion.

Cette étude a pour objectif à long terme de quantifier et de modéliser les mécanismes de liaison des métaux-traces (Cd, Hg et Pb) à la phase solide du sol et à la matière organique dissoute (MOD). Elle vise plus précisément 1) à caractériser la phase solide des sols, 2) à quantifier la rétention de Cd, de Hg et de Pb par les sols dans une gamme de conditions du milieu (pH et teneurs en métaux et en MOD), 3) à estimer les espèces de Cd, de Pb et de Hg présentes dans les solutions de sol produites lors des essais de rétention, 4) à définir les relations entre les constantes de rétention des métaux-traces et les propriétés du sol couramment mesurées et 5) à modéliser les mécanismes de liaison du Cd, du Hg et du Pb par les sols à l'aide d'une approche de complexation de surface.

La stratégie d'échantillonnage consistait à prélever des échantillons de sols (sol minéral et sol organique) dans différentes régions biogéoclimatiques du sud de l'Ontario et du Québec. L'extraction et la transformation des métaux, d'autres types d'activités industrielles, comme le recyclage de batteries, et les activités d'entretien ferroviaire sont à l'origine de la contamination de ces sols par des métaux-traces. Des échantillons ont également été prélevés dans des champs contaminés par des applications excessives de boues d'épuration ou par des pesticides contenant du Hg. Une trentaine d'échantillons de sol ont été prélevés dans des sites présentant un large éventail de propriétés chimiques et physiques. Pour être en mesure de généraliser nos résultats, il est essentiel d'utiliser des cadres biogéoclimatiques variés.

Selon nos constatations préliminaires, le pH a un effet marqué sur la solubilité et la spéciation du Cd et du Pb, et le Cd se retrouve généralement et principalement sous forme d'ions libres dans la solution de sol. Selon les résultats d'études du développement des racines, la biodisponibilité des métaux pour les membranes biologiques est en partie fonction des espèces de métaux en présence, les métaux sous forme libre étant plus disponibles. De plus, les constantes de liaison du Cd et du Pb dans les horizons minéraux sont proches des valeurs dont la littérature fait état, signe que le modèle de complexation est applicable dans une gamme de milieux édaphiques. Dans les horizons organiques, les données laissent supposer que les différences d'assimilation et d'accumulation des métaux par les arbres jouent un rôle clé dans la redistribution après dépôt du Cd et du Pb dans la couverture morte. Les percées de la recherche sur les métaux-traces permettront aux chercheurs de mieux prévoir le comportement et le devenir du Cd, du Hg et du Pb dans les sols contaminés et contribueront à clarifier le rôle de la spéciation des métaux-traces dans la biodisponibilité de ces métaux pour la végétation et les organismes du sol.

Évaluation chimique et écotoxicologique des effets de l'élimination des résidus en milieu marin

Thomas Hynes[1], M. Robin Anderson[2], Jerry Payne[2], Paul Sylvester[3]
[1]Ressources naturelles Canada; [2]ministère des Pêches et des Océans; [3]Université Memorial de Terre-Neuve

Cette étude examine sur place, à deux anciens sites miniers de Terre-Neuve, la possibilité que des résidus miniers entreposés dans l'eau salée ne libèrent par lixiviation des métaux-traces comme l'arsenic, le cadmium, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc. Elle permettra de mieux évaluer les risques et les avantages de l'élimination de résidus miniers en mer.

Importance de la spéciation de l'arsenic pour exprimer la toxicité de cet élément dans les organismes aquatiques : implications pour les recommandations pour la qualité des eaux au Canada

K. Liber[1], J.M. Culp[2] et R. Kerrich[3]

Centre de toxicologie, Université de Saskatchewan, Saskatoon (Saskatchewan) Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada, Saskatoon (Saskatchewan) [3] Département des sciences géologiques, Université de Saskatchewan, Saskatoon (Saskatchewan)

La contamination des écosystèmes aquatiques par l'arsenic provenant de sources anthropiques comme les exploitations minières (p. ex. or, uranium) est une préoccupation dans de nombreuses régions du Canada. Par exemple, les concentrations d'arsenic dans les eaux superficielles et les sédiments à proximité de nombreuses zones minières dans le Nord canadien dépassent actuellement les normes fixées dans les recommandations pour la qualité des eaux et les projets de recommandations sur la qualité des sédiments. Ces recommandations ont en outre été formulées sans tenir dûment compte de la spéciation de l'arsenic (p. ex. As(III), As(V)), qui peut influer sur la toxicité de l'élément. Les espèces chimiques spécifiques de l'arsenic qui dominent dans le milieu aquatique dépendent des propriétés physicochimiques et biologiques des eaux et des sédiments. L'une de ces propriétés est la concentration d'oxygène dissous (OD) qui, lorsqu'elle est faible, peut, en plus d'influer sur la spéciation de l'arsenic, agir comme un facteur de stress secondaire et augmenter la toxicité de l'arsenic.

Cette étude visait à déterminer l'effet combiné de l'arsenic, sous forme As(III) ou As(V), et du stress lié à l'OD sur les stades juvéniles de trois espèces de macroinvertébrés benthiques affichant des préférences d'habitat différentes et des sensibilités différentes aux facteurs de stress. Les expériences ont été réalisées dans des systèmes expérimentaux spécialement conçus à cet effet, où l'on pouvait maintenir constante la concentration d'OD durant les 10 à 14 jours que durait le test. Les concentrations d'As(III) et d'As(V) ont toutes deux été mesurées dans le cadre des tests de toxicité afin de déterminer les expositions réelles à l'arsenic, ainsi que les taux de transformation d'As le cas échéant.

L'éphémère *Baetis tricaudatus* s'est avérée l'espèce la moins tolérante à de faibles concentrations d'OD, tandis que le moucheron *Chironomus tentans* est l'espèce qui les tolérait le mieux; l'amphipode *Hyalella azteca* affichait une sensibilité intermédiaire. Pour ce qui est de la sensibilité des invertébrés selon les espèces, *B. tricaudatus* s'est avérée dix fois plus sensible à l'As(V) et huit fois plus sensible à l'As(III) que *C. tentans* en présence de fortes teneurs en OD. Pour ce qui est de la toxicité d'As, As(III) avait une toxicité aiguë six fois plus élevée pour *C. tentans* qu'As(V). As(III) avait également une toxicité aiguë plus élevée pour *B. tricaudatus*. Une exposition sublétale à As(III) et à As(V) n'a eu par contre aucune incidence sur la croissance de *B. tricaudatus*. On n'a observé non plus aucune différence manifeste dans la toxicité sublétale d'As(III) et d'As(V) pour *C. tentans*. Lorsqu'on a tenu compte de la concentration d'OD comme facteur interactif, on a observé des différences dans la toxicité de l'arsenic pour *C. tentans* et *H. azteca*, mais non pour *B. tricaudatus*. Pour *C. tentans*, par exemple, l'exposition à As(III) en présence de faibles teneurs en OD (1,5 mg/l) augmentait la mortalité larvaire d'environ 30 % et ralentissait la croissance de 50 % comparativement à une

exposition en présence de concentrations d'OD élevées (6,5 mg/l). Bien que les animaux aient surtout été exposés à As(III) dans les expériences avec As(III), une partie d'As(III) s'est convertie (probablement du fait de l'activité microbienne) en As(V); on peut donc qualifier de prudentes les estimations de la toxicité d'As(III).

Cette étude est l'une des rares qui se soient penchées sur la spéciation véritable dans la détermination de la toxicité de l'arsenic pour les macroinvertébrés benthiques. D'après les résultats obtenus, la spéciation de l'arsenic peut être importante et devrait être prise en considération lors de la conception et de l'interprétation des tests de toxicité de l'arsenic et des évaluation des risques environnementaux que pose cet élément. De surcroît, les faibles teneurs en OD souvent associées aux effluents et aux sédiments peuvent accroître la toxicité de l'arsenic, tant en influant sur les taux de conversion des espèces chimiques de l'arsenic qu'en imposant aux animaux un stress métabolique supplémentaire. Une meilleure compréhension de ce genre d'effets interactifs entre l'arsenic et l'OD pourrait avoir une incidence sur plusieurs programmes fédéraux (p. ex. le programme national de SEE des mines de métaux, la formulation de lignes directrices nationales sur l'oxygène dissous et l'arsenic). En effet, les résultats de l'étude donnent à penser qu'une faible teneur en OD pourrait accroître la toxicité de l'arsenic et que, à défaut d'en tenir judicieusement compte, on risque de sous-estimer sa toxicité dans les écosystèmes aquatiques.

Mise en évidence du rôle de la grenaille de plomb, principale source d'exposition au plomb des communautés autochtones

E. Nieboer, L.J.S. Tsuji, B.C. Wainman, J-Philippe Weber
Université McMaster, Hamilton (Ont.), Université de Waterloo, Waterloo (Ont.) et Centre de toxicologie du Québec, Sainte-Foy (Qc)

Au milieu des années 1990, une étude sur l'allaitement maternel menée par des membres de l'équipe a révélé l'existence d'un lien entre la concentration de plomb dans le sang des mères et la consommation de produits traditionnels de la chasse. Une relation similaire a été observée entre la concentration de plomb du sang ombilical des nouveau-nés et la consommation par la mère de chair d'animaux sauvages, notamment de sauvagine. Par la suite, des radiographies ont permis d'établir la présence de grenailles de plomb dans le tube digestif de Cris adultes vivant dans la partie ontarienne de la baie James, ainsi que de fragments de plomb dans les tissus de la sauvagine chassées à l'aide de grenaille de plomb. Avec ces constatations en toile de fond, les membres de ce projet de recherche avaient deux objectifs. Le premier était de comparer les charges corporelles de plomb (mesurées par la concentration de plomb du sang entier) de 50 femmes adultes et de 50 hommes adultes de deux communautés cries de la baie James, Fort Albany et Kashechewan. Un groupe témoin de 50 adultes (nombre égal d'hommes et de femmes) a été constitué à Hamilton, en Ontario. Le deuxième objectif était de comparer les rapports des isotopes stables de plomb dans des échantillons de sang avec ceux de lichens et de munitions au plomb. Cette comparaison visait à cerner avec précision la principale source de plomb à laquelle les personnes sont exposées. En raison de la signature différente des isotopes de plomb, il est possible de différencier les sources de plomb, comme celui utilisé pour fabriquer des munitions et celui présent dans le milieu en général. (Les isotopes stables de plomb sont des atomes de plomb de masse légèrement différente, dont le noyau contient un nombre différents d'atomes.) Dans le cadre de cette étude comparative, la concentration de plomb des lichens reflète le type de plomb présent dans le milieu en général, c'est-à-dire le plomb de sources industrielles contaminant le milieu, habituellement par voie aérienne.

Les résultats obtenus illustrent clairement que les concentrations sanguines de plomb sont beaucoup plus élevées chez les membres des collectivités autochtones que chez les résidents de Hamilton d'âge comparable, une différence de l'ordre de 1 ½ chez les femmes et de 2 chez les hommes (moyenne géométrique). À Fort Albany et à Kashechewan, plus de femmes (10 % *versus* 4 % à Hamilton) présentaient des concentrations sanguines de plomb supérieures à 100 microgrammes/litre, limite jugée médicalement acceptable pour les femmes en âge de procréer. (Cette même limite s'applique aux enfants.) Une comparaison des concentrations de plomb présentes dans le sang d'un sous-échantillon de chasseurs avant et après la saison de la chasse a permis de constater une augmentation importante (jusqu'à 40 %). En fait, les concentrations mesurées chez certaines personnes après la saison de la chasse atteignaient celles observées chez des travailleurs exposés au plomb dans leur milieu de travail. Une analyse des données sur les rapports des isotopes de plomb confirme notre interprétation, à savoir que les munitions au plomb sont une source principale de plomb. Nous avons fait part de nos constatations aux membres des collectivités autochtones dans le cadre d'un effort concerté visant à limiter l'exposition de la population au plomb provenant de l'utilisation de munitions au plomb et de la consommation de viande contaminée par la grenaille ou des fragments de plomb.

Transport des métaux provenant des réservoirs de résidus miniers et libération dans les eaux de surface

Chercheur principal
C.J. Ptacek
Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada
Partenaire
D.W. Blowes
Département des sciences de la terre, Université de Waterloo

Les activités minières produisent des résidus qui sont déposés dans des réservoirs ou amoncelés en grands tas. Ces résidus contiennent habituellement des concentrations élevées de minéraux sulfurés dont l'extraction ne présente aucun intérêt économique, comme la pyrite et la pyrrhotine, et des concentrations à l'état de traces d'autres sulfures métalliques, comme la sphalérite et la galène. Les déchets de raffinage, sous-produits du traitement des minerais en vue de la production de métaux, sont souvent éliminés avec les résidus. Avec le temps, les déchets de raffinage se désintègrent, et les sulfures qu'ils contiennent s'oxydent et libèrent de l'acide, des métaux dissous, notamment Fe, Zn, Cu, Ni, Co, du sulfate et d'autres éléments, comme l'arsenic, dans les eaux des précipitations qui s'y infiltrent. À mesure que ces eaux de mauvaise qualité migrent dans les tas ou les réservoirs de résidus, il se produit une série de réactions qui réduisent les concentrations de certains métaux et neutralisent l'acide. Dans de nombreux sites de résidus miniers, des concentrations très élevées de métaux et d'autres substances finissent par migrer hors du réservoir, entraînant une dégradation de la qualité des eaux souterraines et des eaux de surface. En l'absence de mesures correctives, les sites libéreront pendant très longtemps des concentrations inacceptables d'acides et de métaux dissous. Ce projet combine des études sur le terrain et en laboratoire et l'utilisation de modèles afin d'améliorer les prévisions des charges à long terme de métaux et d'autres substances provenant des réservoirs de résidus miniers. Des études hydrogéologiques et géochimiques sur le terrain ont été menées sur les sites des réservoirs de résidus des trois mines de métaux communs (Timmins et Sudbury, Ont., et Flin Flon, Man.) et d'une mine d'or (Red Lake, Ont.). Des études complémentaires en laboratoire ont été effectuées afin d'obtenir des données sur les processus d'absorption des métaux et d'évaluer le potentiel à long terme de déperdition des métaux d'un site donné. Dans tous les sites à l'étude, des concentrations très élevées de sulfates, de métaux-traces et d'autres composants dissous, comme l'arsenic, ont été observées dans les eaux interstitielles des résidus. Dans les sites plus anciens qui ont été étudiés, une grave dégradation de la qualité des eaux souterraines et des eaux de surface a été observée. Les calculs ont été effectués à l'aide d'un modèle de transport de soluté réactif pleinement couplé, étalonné à l'aide des données de terrain et de laboratoire afin de prédire les charges de métaux dans les étendues d'eau adjacentes. Le modèle prédit que les concentrations de substances dissoutes dans les eaux de sortie augmenteront dans certains cas pendant plusieurs décennies, puis diminueront ensuite graduellement pendant de nombreuses années. Les résultats peuvent servir à prévoir de manière plus exacte les coûts des mesures correctives à prendre dans les sites existants et à élaborer des pratiques améliorées d'élimination des résidus.

Biodisponibilité de l'arsenic à Yellowknife

Kenneth Reimer[1], William Cullen[2], Heather Jamieson[3]
[1]Collège militaire royal du Canada; [2]Université de Colombie-Britannique; [3]Université Queen's

Ce projet a évalué les risques de l'arsenic pour l'environnement et pour la santé humaine. Les recherches ont porté sur des résultats récents indiquant que certains types d'exposition à l'arsenic pourraient être plus nocifs qu'on ne le croyait. Elles ont été effectuées à Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest), où l'on trouve de fortes teneurs totales en arsenic dues à des sources naturelles (minéraux arsénicaux) et à des apports anthropiques (mines et fonderies), comme dans de nombreuses autres régions du Canada. Ces recherches fourniront des informations qui pourraient faciliter l'évaluation des risques et le développement de procédures utiles pour l'étude d'autres régions contaminées par l'arsenic, au Canada et à l'étranger.

Cycle du mercure dans le Parc national Kejimkujik

Andrew Rencz

Situé en Nouvelle-Écosse, le parc national Kejimkujik est reconnu pour héberger les huards ayant les concentrations sanguines de mercure les plus élevées en Amérique du Nord. Nos recherches tentent de répondre aux questions concernant les sources et les processus qui seraient responsables de ces concentrations anormales de mercure. Nous connaissons mal les sources et la transformation du mercure dans les écosystèmes naturels et nous devons avoir recours à une approche multidisciplinaire pour comprendre le cycle complexe du mercure en milieu aquatique et terrestre. Notre groupe multidisciplinaire se compose de biologistes, de géologues, de chimistes, de limnologues et d'experts en télédétection et en SIG.

Les travaux sur le terrain avaient pour but de recueillir à des fins d'analyse chimique des échantillons de divers milieux dans un éventail d'écosystèmes situés dans le parc et à proximité : végétation, sols, roches, sédiments lacustres, eau des cours d'eau, des lacs et de la nappe phréatique. Nous avons également mesuré le flux de Hg afin de caractériser les échanges entre l'atmosphère et la végétation, les sols et l'eau. Nous avions pour objectifs de caractériser les pools de Hg, de quantifier le flux entre les divers pools et de décrire les différents processus géochimiques sous-jacents à la circulation du Hg.

Au cours des deux premières années, nous avons établi les caractéristiques de la répartition du Hg dans les divers pools (milieux) et la variation spatiale du Hg à travers le parc. Nous y avons observé une variation des concentrations de Hg qui, dans la plupart des milieux, n'étaient toutefois pas beaucoup plus élevées que dans d'autres régions du Canada. Les secteurs où les concentrations de Hg total sont plus élevées sont en rapport avec les formations géologiques sous-jacentes. Nous intégrons actuellement les données multidisciplinaires dans un bilan de masse, mais nos premiers calculs mettent en évidence l'importance de l'apport atmosphérique ainsi que plusieurs résultats inattendus, notamment l'importance des eaux souterraines comme source de MeHg dans les lacs et l'importance de la végétation et de la volatilisation comme voies de cheminement du mercure dans l'écosystème. Les résultats de notre étude laissent voir la nécessité de dresser le bilan de masse du MeHg.

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, même si les concentrations de Hg ne sont pas beaucoup plus élevées dans la plupart des milieux, elles le sont toutefois à des échelons supérieurs de la chaîne alimentaire, notamment chez les huarts. Cette constatation souligne l'importance de la bioamplification du Hg à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire ainsi que du processus de méthylation. Afin d'évaluer l'importance du MeHg et sa relation avec la matière organique, nous avons intégré plusieurs nouveaux axes de recherche au projet, notamment l'analyse des processus microbiologiques intervenant dans le cycle et la transformation du mercure ainsi que les processus de sédimentation comme puits du mercure. Les recherches effectuées dans le cadre de ce projet ont montré l'importance des milieux humides dans la production et le transport du méthylmercure, la contribution des sols comme source de mercure et l'importance du flux de mercure provenant de divers milieux.

Les résultats de ce projet sont importants, car ils aideront à mesurer l'importance relative du dépôt atmosphérique, des sources géologiques et des processus géochimiques, biologiques et photochimiques et leur contribution aux concentrations de mercure dans les systèmes aquatiques et terrestres. Les données recueillies permettront d'enrichir la base de connaissances sur laquelle s'appuie l'évaluation des risques liés au mercure dans un site et fourniront un meilleur cadre pour élaborer des

stratégies efficaces de gestion des risques. Les résultats de ces recherches révèlent aussi la possibilité d'utiliser la télédétection pour repérer les secteurs où pourraient se trouver des éléments toxiques (mercure). Le volet sur le bilan de masse aidera à clarifier l'importance relative des entrées et des sorties dans l'écosystème de Kejimkujik.

Effet toxique du plomb sur la faune

Scheuhammer, A., Campbell, D., Martin, P., Thomas, V. et Wickstrom, M.

Notre recherche vise à évaluer les impacts de la contamination de l'environnement par le plomb sur la faune du Canada, à étudier le problème de l'augmentation de l'exposition au plomb du gibier à plumes sédentaire et de ses prédateurs ainsi que de leur intoxication par le plomb, à étudier certains effets potentiels sur l'environnement du dépôt de plomb dans les champs de tir ainsi qu'à analyser les isotopes stables de plomb présents dans les tissus animaux et dans divers milieux afin de distinguer les différentes sources d'exposition au plomb de la faune canadienne. Un examen des rapaces diurnes et nocturnes morts trouvés dans divers endroits d'un bout à l'autre du Canada nous a permis d'établir qu'une proportion réduite mais importante de ces oiseaux avait été exposée à des concentrations élevées de plomb et que certains étaient même morts d'une intoxication saturnine. De la même manière, nous avons observé une exposition à des concentrations élevées de plomb chez 11 % des jeunes Perdrix de Hongrie de l'année et chez 5 % des jeunes Tétras à queue fine de l'année, deux espèces de gibier à plumes sédentaires des Prairies canadiennes. Nous n'aurions pas été surpris de constater de telles fréquences d'exposition à des concentrations élevées de plomb chez la sauvagine, dont on sait qu'elle ingère la grenaille de plomb perdue au fond des marais et des lacs. Toutefois, l'ingestion de la grenaille de plomb par le gibier à plumes sédentaire n'avait jamais fait auparavant l'objet d'études approfondies et était jugée peu fréquente par nombre de biologistes et de gestionnaires de la faune. Notre recherche a donc mis en évidence un fait important, à savoir que les os de Perdrix de Hongrie présentant un taux élevé d'accumulation de plomb révélaient un profil de rapports isotopiques du plomb concordant avec l'ingestion de la grenaille de plomb. Selon les résultats des analyses des isotopes de plomb, ces espèces sédentaires ne semblaient pas exposées à des niveaux élevés de plomb dans l'environnement attribuables à d'autres sources présumées, comme le plomb produit par la combustion d'essence dans le passé. Les données compilées à ce jour révèlent que la source la plus probable d'exposition à des concentrations élevées de plomb de ces oiseaux sédentaires et de leurs prédateurs (rapaces diurnes et nocturnes) semble être l'ingestion de la grenaille de plomb, plutôt que l'exposition à d'autres sources potentielles de plomb dans l'environnement. Le recours à l'analyse des isotopes stables de plomb, comme celle que nous avons utilisée dans le cadre de la présente étude, est particulièrement important et utile pour élaborer des politiques de gestion de la faune basées sur de bonnes pratiques écologiques qui doivent également s'appuyer sur de solides données concernant l'importance relative des différents sources potentielles d'exposition au plomb dans l'environnement.

Émissions naturelles de mercure dans l'environnement canadien

Schroeder Bill, Edwards Grant, Rasmussen Pat, Beauchamp Steve, Poissant Laurier

Le mercure se retrouve partout dans l'environnement. Sa présence est due à un large éventail de processus naturels et d'activités humaines. Au cours des 25 dernières années, le Canada et d'autres pays industrialisés se sont employés à mettre fréquemment à jour et à améliorer continuellement leurs inventaires des émissions anthropiques de mercure. Jusqu'à maintenant, aucun effort concerté de cette nature n'a été déployé ni même officiellement proposé pour aborder la question fort controversée de l'ampleur ou de l'importance relative des émissions naturelles de Hg par rapport aux émissions anthropiques. Il reste donc de vastes zones obscures en ce qui concerne l'ampleur relative de la contribution de nombre de sources/processus naturels et anthropiques rejetant du mercure dans l'environnement.

Le milieu des années 1990 a marqué un point tournant pour le Canada, qui a modifié son approche face au manque d'information et au degré d'incertitude quant à l'importance (relative) des sources naturelles contribuant à augmenter la charge atmosphérique de mercure au Canada et à l'échelle mondiale. Le présent projet de recherche est un effort conjoint réunissant divers organismes d'Environnement Canada, y compris le Service météorologique du Canada, ainsi que les régions du Québec et de l'Atlantique. L'Université de Guelph, la Commission géologique du Canada et Santé Canada sont les organismes participants de l'extérieur.

Les grands objectifs de ce projet sont d'évaluer le rôle de l'atmosphère dans le cycle du Hg dans les écosystèmes naturels, de fournir des données d'entrée pour des modèles du Hg dans l'atmosphère et de colliger de l'information qui aidera à différencier les sources naturelles des sources anthropiques dans l'environnement du Canada et à évaluer leur importance relative. Le projet IRTS # 105 a été entrepris pour s'attaquer aux graves lacunes de l'information concernant les émissions/processus naturels dans l'environnement : 1) l'insuffisance de données représentatives et fiables sur les émissions/sources/processus naturels rejetant des espèces volatiles de mercure dans l'atmosphère au Canada (et ailleurs, étant donné que le transport transfrontalier du mercure est une réalité) et 2) l'évaluation (ou l'élaboration) de modèles/méthodes pouvant permettre de transposer de l'échelle régionale à l'échelle nationale les résultats d'expériences de mesures des flux sur le terrain.

Les objectifs du projet ont été atteints. En raison de la complexité du cycle biogéochimique du Hg provenant de sources naturelles dans l'environnement, nous avons eu recours à trois équipes multidisciplinaires de chercheurs pour combler les lacunes de l'information en recueillant des données représentatives et fiables sur les sources et les processus naturels entraînant des émissions de Hg volatil. L'équipe A a entrepris des études approfondies en laboratoire et sur le terrain. Le volet en laboratoire visait à améliorer la chambre d'essai dynamique des flux et les techniques de micrométéorologie pour mesurer les flux de Hg provenant de sources naturelles. Les études sur le terrain avaient pour but de poursuivre la collecte de données dans des cadres géologiques différents et sous divers régimes climatiques du Canada. L'équipe B a mesuré *in situ* l'échange de Hg entre la surface et l'atmosphère dans divers paysages de la région du Québec, et l'équipe C a mené des recherches dans la région de l'Atlantique dans des paysages naturels différents comportant des écosystèmes marins, d'eau douce et terrestres. Les formations géologiques sous-jacentes, les vestiges de till recouvrant la surface, le couvert végétal, le climat, l'humidité et la teneur en matière organique prévalant

dans ces types de paysages sont autant de facteurs de confusion influant sur l'étude des émissions naturelles de Hg.

Les efforts intensifs déployés au cours des trois dernières années ont permis d'obtenir de vastes ensembles de données qui ont ouvert de nouvelles perspectives sur les émissions/processus qui régissent la circulation du mercure gazeux dans notre environnement. La modélisation et les activités de mise à l'échelle nous ont permis de mieux comprendre la contribution des sources naturelles au bilan mondial du mercure.

Mercure dans les bassins versants forestiers après des feux de forêt ou des coupes

William M. J. Strachan, Ellie E. Prepas, Weiping C. Chen, Ian D. Campbell, Stephan Gabos

En forêt, la végétation constitue une surface beaucoup plus grande que le terrain qu'elle occupe et absorbe le mercure de l'atmosphère, présent dans l'air et dans la pluie. Les feuilles tombent sur le sol et s'y décomposent, formant une litière feuillue qui finira par se mêler au sol. Une partie du mercure présent dans la litière y persiste, tandis qu'une autre partie est entraînée par l'eau de pluie dans les lacs et les cours d'eau où elle s'accumule chez le poisson et d'autres espèces végétales et animales aquatiques. Un bassin versant se compose généralement du lac lui-même (5-35 % de la superficie) et de la forêt qui l'entoure; le mercure s'accumule dans le lac. Lorsqu'un feu ou des opérations d'exploitation intensive font disparaître le couvert forestier, les caractéristiques du ruissellement changent, et l'objectif de notre étude était d'établir les modifications des concentrations de mercure dans les cours d'eau et chez le poisson résultant de la disparition du couvert.

Nous avons étudié un certain nombre de lacs où l'historique des feux était connu et un cours d'eau distinct dans la région de Swan Hills, dans le nord de l'Alberta; le bassin versant d'un des lacs et celui du cours d'eau ont par la suite été récoltés et, coup de hasard, le parterre de coupe du lac a été balayé par le feu. L'analyse de tous les résultats n'est pas encore terminée, et les observations ci-dessous sont présentées à titre provisoire, en attendant les conclusions que nous pourrons tirer des données encore à venir.

En 1999, les concentrations moyennes de mercure dans les eaux de surface étaient passablement uniformes dans l'ensemble du secteur -- 1,3-1,5 ng/L -- malgré le nombre limité de lacs. En 2000, nous avons comparé un certain nombre de bassins versants lacustres précédemment incendiés (2 ans) avec des bassins lacustres de référence qui n'avaient pas été perturbés par le feu ou l'exploitation. Les concentrations de mercure dans l'eau des lacs étaient plus élevées dans les bassins incendiés (1,4 ± 0,2 ng/L) que dans les bassins non perturbés (0,8 ± 0,2 ng/L). Le profil de la concentration de mercure chez les invertébrés de ces lacs était ambigu – la plupart des taxons ne présentaient pas de différences, même si au moins un taxon (larves de libellule) présentait des concentrations plus élevées dans les bassins lacustres incendiés (57 ± 4 ng/g par opposition à 39 ± 5 ng/g). Les concentrations mesurées chez ce taxon étaient même plus élevées dans un lac contaminé (c.-à-d., ayant fait l'objet d'un avertissement aux consommateurs de poisson de pêche sportive) échantillonné pendant cette période (84 ± 10 ng/g). Nous n'avons pu capturer un nombre significatif de poissons prédateurs de niveau trophique supérieur dans ces lacs, mais nous nous employons à recueillir un échantillon suffisant dans le bassin du lac exploité/incendié et d'au moins un lac de référence.

Au moment de la rédaction du présent article, nous ne disposions pas des résultats des comparaisons « avant-après » de la qualité de l'eau des deux systèmes qui avaient été exploités et de celui qui avait été incendié. Ce dernier a fait l'objet d'une étude de rétablissement plus détaillée, de premiers échantillons y ayant été prélevés quelques semaines après le feu (mai 2001), puis toutes les deux semaines jusqu'à la prise des glaces (octobre 2001).

Nous prévoyons que les observations effectuées dans le cadre de cette étude auront des répercussions importantes sur l'émission et la levée des avertissements aux consommateurs de poisson de pêche sportive. Si nous connaissons l'importance de l'augmentation des concentrations de mercure dans l'eau et, en conséquence, chez les invertébrés dont se nourrissent les poissons et chez les poissons

eux-mêmes, nous pourrons mieux prévoir les risques de dépassement des limites recommandées pour la consommation de poisson. Un outil permettant de prévoir combien de temps prendra un système lacustre pour se rétablir sera utile pour élaborer des programmes d'échantillonnage du poisson visant à déterminer s'il faut ou non maintenir un avertissement aux consommateurs.

Validation du gradient de diffusion de la technique à couches minces pour l'évaluation de la biodisponibilité du cadmium et du plomb dans l'environnement aquatique

Michael Twiss, André Tessier, Lise Rancourt et Richard Goulet

La toxicité des métaux-traces pour les organismes aquatiques dépend des formes spécifiques des métaux présents dans les eaux naturelles. On a proposé dernièrement une technique pour mesurer les formes métalliques dans le milieu naturel : la technique DGT (Diffusion Gradient in Thin-film).

Notre principal objectif est de vérifier si cette technique DGT peut servir à déterminer les formes métalliques et à prévoir l'accumulation des métaux dans les organismes aquatiques présents que l'on rencontre normalement dans les eaux naturelles canadiennes. La figure 1 représente une coupe d'une sonde DGT. Cette sonde est constituée d'une résine capable de lier rapidement et efficacement les métaux, et d'un gel diffusif qui contrôle le transport des formes métalliques entre la solution externe et le gel de résine.

Le rapport entre la quantité de métal accumulée (Q; mol) dans le gel de résine et la concentration des formes métalliques dans la solution (C_b; mol l^{-1}) est établi au moyen de l'équation suivante :

$$Q = \frac{{}^{g}D \cdot A \cdot t}{\Delta g} \cdot C_b$$

où ${}^{g}D$ ($cm^2 \cdot sec^{-1}$) est le coefficient de diffusion du métal dans le gel diffusif, A la surface (cm^2) du gel diffusif exposée à la solution externe, t le temps de déploiement (sec), C_e ($\mu g \cdot l^{-1}$) la concentration de l'espèce métallique dans l'eau externe, et Δg l'épaisseur du gel diffusif (cm). La sonde DGT ressemble à une rondelle de hockey.

La validation de la technique DGT pour les eaux naturelles comporte les étapes suivantes : i) comparaison des résultats obtenus par cette technique avec ceux obtenus par d'autres techniques *in situ* et en laboratoire; ii) détermination des éventuelles interactions des formes métalliques avec le gel diffusif susceptibles de compromettre l'utilisation de la technique DGT dans les eaux naturelles. À ce jour, les résultats indiquent que certaines formes métalliques interagissent avec les gels diffusifs – ce qui n'est pas idéal et peut rendre ambiguë l'interprétation des résultats des sondes DGT dans les systèmes naturels. Nous n'en poursuivons pas moins nos recherches pour mieux comprendre les formes chimiques des métaux mesurées par cette technique, car celle-ci s'avère fort prometteuse.

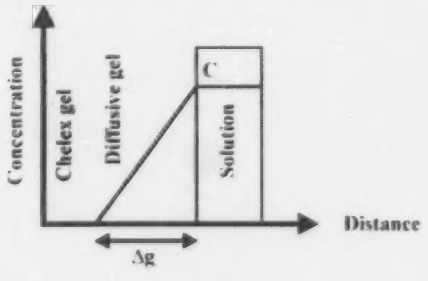

Figure 1. *Représentation schématique du gradient de concentration d'un soluté dans un appareil DGT. Δg est l'épaisseur (cm) du gel diffusif.*

Évaluation des risques toxicologiques de la contamination environnementale par le manganèse

Zayed Joseph[1], Carrier Gaétan[1], Kennedy Greg[2], Butterworth Roger F.[3], Hazell Alan[3], Mergler Donna[4]
[1]Département de santé environnementale et de santé du travail, École Polytechnique, Université de Montréal, C. P. 6128, Succursale Centre-ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3J7 [2] Unité de recherches en neurosciences, Centre Hospitalier de l'Université de Montréal, Campus Saint-Luc [4] Centre pour l'étude des interactions biologiques entre la santé et l'environnement (CINBIOSE), Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada

Le système nerveux central est une cible importante pour l'intoxication par le manganèse (Mn) qui peut provoquer chez l'homme des symptômes neurologiques semblables à ceux de la maladie de Parkinson. Le méthylcyclopentadiényl manganèse tricarbonyle (MMT), un additif de l'essence sans plomb, entraine l'émission de fines particules de Mn, un produit chimique qui retient une fois de plus l'attention. Les micro-environnements à forte densité de circulation présentent des concentrations plus élevées de Mn. Certains estiment que la combustion du MMT pourrait être une source importante d'exposition au Mn inorganique en milieu urbain, car cette substance est rejetée par les tuyaux d'échappement. Il est crucial de se demander si une faible augmentation de la contamination par le Mn résultant de l'utilisation à grande échelle du MMT peut provoquer des effets neurotoxiques. Dans le cadre de ce projet de recherche, nous avons mesuré la pharmacocinétique et la toxicité neuro-comportementale de différents composés de Mn chez des animaux.

Nous avons exposé un total de 270 rats Sprague-Dawley à diverses concentrations de différents composés de Mn. Ces études en chambre d'inhalation se sont déroulées pendant une période de 13 semaines consécutives, à raison de 5 jours par semaine et de 6 heures par jour. Selon les résultats obtenus, les concentrations dans les tissus cérébraux dépendent de la dose inhalée. Le cerveau est un site cible pour l'accumulation du Mn. De plus, certains effets neurotoxiques (état neuro-comportemental, dommage histopathologique et tremblements musculaires associés) ont été observés, principalement lorsque le niveau d'exposition était élevé. Ces résultats devraient contribuer à la mise en œuvre fructueuse de méthodes fondées sur l'expérience clinique permettant l'évaluation des risques liés à l'utilisation du MMT dans l'essence au Canada.

Substances chimiques perturbatrices du système endocrinien

Les substances chimiques perturbatrices du système endocrinien ont le pouvoir d'altérer ou de perturber le système hormonal ou endocrinien. Depuis son lancement en 1998, l'Initiative de recherche sur les substances toxiques a alloué plus de 6,1 millions de dollars pour le financement de 17 projets de recherche ciblant le domaine des SPSE.

Pour les années financières 1999-2000 et 2000-20001, les candidats devaient accélérer les activités de recherche pour établir une meilleure compréhension des conséquences des SPSE.

Pour l'année financière 1999-2000, les besoins prioritaires identifiés étaient:

- Identifier des mesures de résultats qui permettront de prédire les effets néfastes sur les écosystèmes et les humains exposés à diverses substances chimiques perturbatrices du système endocrinien;
- Étudier les liens entre les effets sur l'écosystème et ceux sur la santé humaine attribuables à l'exposition aux niveaux et aux mélanges de substances chimiques perturbatrices du système endocrinien dans l'environnement;
- Développer des outils de dépistage qui permettront d'évaluer les effets physiologiques potentiels des substances chimiques perturbatrices du système endocrinien présentes dans l'environnement;
- Établir les sources et les entrepôts de substances chimiques perrturbatrices du système endocrinien dans l'environnement, et classer ces substances en ordre de priorité aux fins d'autres tests;
- Décrire la relation dose-réponse des effets sur l'environnement et la santé humaine afin d'établir les risques liés aux substances chimiques perturbatrices du système endocrinien;
- Établir des mécanismes d'action pour les substances chimiques perturbatrices du système endocrinien et leurs mélanges dans l'environnement lorsque des décisions réglementaires sont requises; et
- Établir les effets pharmaco-cinétiques et pharmaco-dynamiques des substances chimiques perturbatrices du système endocrinien lorsque des décisions réglementaires sont requises.

Pour l'année financière 2000-2001, les besoins prioritaires identifiés étaient :

- Établir les effets néfastes pour l'environnement et la santé humaine de l'exposition aux mélanges de perturbateurs endocriniens présents dans l'environnement aux concentrations qu'on y observe;
- Identifier les perturbateurs endocriniens et déterminer leurs sources et leur devenir dans l'environnement; et
- Élaborer des méthodes normalisées permettant de prévoir l'activité d'une substance comme perturbateur endocrinien dans l'environnement de façon à ce qu'on puisse classer les substances selon leur activité perturbatrice et ainsi d'en choisir certaines en priorité.

Pour l'année financière 2001-2002:

Notez qu'aucun appel de proposition n'a été effectué pour l'année financière 2001-2002. Par conséquent, l'IRST n'a pas développé de besoins prioritaires pour cette période. Mentionnons, par contre, que plusieurs projets approuvés durant l'année financière 1999-2000 se poursuivront jusqu'au 31 mars 2002.

Effets des pesticides utilisés dans les vergers sur la faune terrestre

Christine Bishop, Pamela Martin, John Elliott, Tony Williams

Avec la destruction de leur habitat et la diminution continuelle des terres non cultivées, les oiseaux sauvages optent pour les milieux semi-naturels tels les vergers de pommiers pour se nourrir et faire leur nid. Toutefois, la culture des pommiers est celle qui demande le plus de pulvérisations de pesticides au Canada. En effet, un verger de pommiers reçoit jusqu'à 11 applications de divers pesticides par saison. Les pulvérisations ont lieu du début d'avril à la mi-août et coïncident avec la saison de reproduction des oiseaux sauvages. En outre, les pulvérisations de DDT dans le passé ont contaminé toute la chaîne alimentaire et ont entraîné des concentrations élevées de cet insecticide dans les œufs des oiseaux chanteurs.

Les effets sur la reproduction, la fonction endocrinienne et la fonction immunitaire des oiseaux sauvages qui vivent dans les vergers ont été signalés dans plusieurs études. Dans notre étude, nous avons évalué les effets du DDT et des pesticides utilisés actuellement sur la reproduction, la fonction endocrinienne et la fonction immunitaire des oiseaux sauvages vivant dans les vergers, et nous avons tenté de comparer ces effets à ceux observés chez des oiseaux domestiqués exposés au DDT et à des doses connues de pesticides pulvérisés dans les vergers, et à ceux observés dans le cadre d'études de laboratoire sur des oiseaux sauvages gardés en captivité provenant de sites contaminés et non contaminés par le DDT.

Nous avons installé des nichoirs pour des Hirondelles bicolores dans plusieurs vergers pulvérisés et pâturages non pulvérisés dans le sud de l'Ontario, et nous avons observé le succès de reproduction. Dans chaque nid, nous avons mesuré le DDT dans l'un des œufs; les hormones de stress thyroïdiennes chez deux oisillons et la fonction thyroïdienne chez un oisillon. Nous n'avons observé aucune différence dans le nombre d'oisillons par nid entre les vergers et les pâturages. Les œufs dans les vergers présentaient des concentrations beaucoup plus élevées de DDT, et les concentrations d'hormones thyroïdiennes mesurées chez les oisillons dans les vergers et les pâturages étaient différentes et corrélées aux concentrations de DDT dans le œufs. Les thyroïdes des oisillons dans les vergers se développaient anormalement. Nous n'avons observé aucune différence dans les hormones de stress ou la réponse immunitaire. Étant donné que la thyroïde est importante pour la croissance et le développement des oiseaux, ces changements pourraient être importants pour la nidification des oiseaux dans les vergers.

Lorsqu'ils étaient élevés en captivité, des Merles d'Amérique prélevés de nids situés dans des vergers fortement contaminés dans la vallée de l'Okanagan présentaient également une activité des hormones thyroïdiennes légèrement différente et avaient un comportement différent durant la saison de reproduction que celui de Merles provenant d'une région moins contaminée, la vallée du bas Fraser de la Colombie-Britannique. Lorsqu'ils provenaient des vergers, les merles d'Amérique mâles chantaient moins et les femelles pondaient moins d'œufs (et moins d'oisillons naissaient) que les oiseaux provenant de la vallée du bas Fraser.

Des Diamants mandarins en captivité auxquels nous avons administré du DDT et 2 pesticides utilisés actuellement dans les vergers n'ont montré aucune différence par rapport aux oiseaux témoins en ce qui a trait au nombre d'oisillons nés ou à la croissance des oisillons. Nous avons observé certaines différences au niveau des cellules sanguines qui indiquent un effet sur le système immunitaire chez les oiseaux exposés au DDT et aux autres pesticides.

L'exposition combinée à d'anciens pesticides comme le DDT et à des pesticides utilisés actuellement peut se traduire par une perturbation des systèmes endocrinien et immunitaire des oiseaux qui utilisent les vergers comme habitat de reproduction.

Effets des perturbateurs endocriniens sur l'adaptation, la croissance et la survie des smolts dans l'eau de mer

Scott Brown, Wayne Fairchield, Kats Haya, Geoff Eales, Deborah MacLatchy, Jim Sherry, Don Bennie, Kent Burnison, Robert Evans

Contexte. Une publication récente a montré que des produits chimiques utilisés entre 1975 et 1985 pourraient avoir affecté des populations sauvages de saumon dans le Canada atlantique. Les préoccupations proviennent d'une formulation d'insecticide, le MatacilÔ1.8D, pulvérisée en vue de limiter les dommages causés par la tordeuse de l'épinette, renfermant des concentrations élevées d'un composé appelé 4-nonylphénol. Les nonylphénols exercent des effets œstrogéniques chez les poissons et sont classés dans la catégorie des hormones mimétiques ou « perturbateurs endocriniens ». On a réalisé que la pulvérisation contre la tordeuse de l'épinette coïncidait avec les stades finals de la smoltification (processus par lequel le saumoneau vivant en eau douce subit une adaptation physiologique lui permettant de survivre dans l'eau de mer). L'étude de l'exposition des saumons à ce stade de leur vie a révélé des effets néfastes sur les remontées de saumon subséquentes, comme en témoignent les faibles prises dans les secteurs où du Matacil®1.8D a été pulvérisé. Afin de déceler une situation qui pourrait nous permettre de prédire des effets nocifs pour les populations de saumon en migration, nous avons déterminé si la smoltification chez le saumon atlantique était sensible aux faibles concentrations de nonylphénol et d'œstrogènes résultant de rejets dans les cours d'eau qui abritent des stocks de saumons anadromes. Pour faciliter l'estimation du risque de ces rejets, nous avons étudié les périodes importantes d'exposition et les doses de ces substances. La plupart des sources actuelles de stéroïdes dans le milieu proviennent d'effluents d'eaux usées, de déchets agricoles ou d'effluents industriels; la capacité de ces mélanges de produire des effets semblables à ceux observés dans le cas des composés purs a été évaluée.

Croissance et survie. Nos expériences en laboratoire ont montré que la croissance des saumons traités (basée sur le gain de poids) à partir du transfert à l'eau salée (mi-juin) jusqu'à octobre, est bimodale. Ces données indiquent qu'une partie de la population peut être affectée par de brèves expositions (2-5 jours) à des œstrogènes ou à du nonylphénol dans l'eau. Nous n'avons observé aucun effet lié au traitement sur la survie durant la croissance à long terme dans l'eau de mer. Des smolts sauvages, capturés en amont de la rivière Miramichi Nord-Ouest, ont été mis en cage à divers endroits dans les estuaires des rivières Miramichi (exposés) et Tabusintac (témoins). Le profil de croissance bimodale était évident chez tous les poissons peu importe l'endroit où ils étaient tenus en cage. Toutefois, dans le cas de la dévalaison de 2000, la proportion de petits poissons était plus importante chez les poissons en cage provenant des trois endroits situés près des sources d'effluent dans l'estuaire de Miramichi que chez ceux provenant de la rivière Tabusintac.

Paramètres biochimiques, histologiques et endocriniens. Chez les poissons exposés et témoins, nous avons étudié les paramètres osmorégulateurs, les facteurs de croissance, les concentrations d'hormones stéroïdiennes et la vitellogénine, une protéine du jaune d'œuf couramment utilisée comme marqueur de l'exposition à des substances œstrogéniques. Le traitement au nonylphénol et aux œstrogènes a eu peu d'effets sur les paramètres osmorégulateurs, mais il a eu un effet sur les indicateurs de l'exposition

(vitellogénine) et les paramètres permettant de prédire les déficits de croissance observés (hormones thyroïdiennes et facteur de croissance semblable à l'insuline).

Mesures de l'exposition. Les concentrations d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), de nombreux métaux-traces et de nonylphénol ont été mesurées dans l'eau et les sédiments de l'estuaire de la Miramichi. Les concentrations de HAP dans l'eau de la rivière étaient faibles, mais les effluents des usines de pâtes et les sédiments à Chatham en renfermaient des concentrations plus élevées. L'analyse des métaux-traces a révélé un enrichissement en ions et en nutriments dans les effluents des usines de pâtes et les effluents d'eaux usées. Les échantillons d'eau et de sédiments prélevés dans l'estuaire de la Miramichi présentaient généralement de faibles concentrations de nonylphénol. Toutefois, nous avons mesuré des concentrations faibles, mais détectables, d'œstrogènes associés aux eaux usées et à d'autres sources.

Importance écologique d'un déficit de croissance. La survie en mer de certaines classes annuelles de smolts a été corrélée au début de leur croissance dans l'océan. Des smolts de saumon atlantique exposés à du nonylphénol et à des œstrogènes dans notre laboratoire et dans le cadre d'expériences sur le terrain ont, dans une plus grande proportion, une croissance plus lente dans les mois suivant leur introduction dans l'eau de mer. Si ce phénomène se produit également à l'état sauvage à la suite d'une exposition à des agents actifs présents dans les effluents actuels, on peut s'attendre à une remonte moins importante d'adultes.

Les perturbateurs endocriniens dans les effluents d'eaux usées municipales

B. Kent Burnison, Mark Servos, Jim Sherry, Bill Lee, Glen Van Der Kraak, Chris Metcalfe

Contexte. Les stations d'épuration des eaux usées (SEEU) ont pour fonction d'éliminer les contaminants organiques et inorganiques dans les eaux usées municipales. Toutefois, leur efficacité n'est pas totale. Certains des contaminants organiques retrouvés dans les effluents terminaux des SEEU sont des substances qui peuvent avoir des effets nocifs sur le système endocrinien des organismes aquatiques. On les désigne collectivement sous le nom de perturbateurs endocriniens (PE). Le système endocrinien est constitué de glandes qui produisent des hormones agissant sur le développement, la croissance, la reproduction et le comportement des humains et des animaux. On a observé, entre autres, chez les poissons exposés à des effluents de SEEU la présence de vitellogénine (protéine du jaune d'œuf) dans le sang des mâles, le développement d'œufs dans les testicules et même l'apparition de caractères sexuels secondaires mâles chez les femelles. Les nombreuses lacunes dans les évaluations ayant trait aux PE ne permettent pas de caractériser le risque et rendent difficile l'élaboration de stratégies pertinentes de gestion du risque. Le gouvernement fédéral du Canada s'est engagé récemment à effectuer des recherches sur les perturbateurs endocriniens en vertu de la *Loi sur la protection de l'environnement* modifiée. Le présent projet a pour but de combler les lacunes importantes observées dans les programmes gouvernementaux actuels et de fournir les données requises pour prendre des décisions scientifiques éclairées permettant de déterminer les besoins, l'orientation et les choix en matière de réglementation future.

Situation actuelle. Nos études sur le terrain ont montré que certains effluents de SEEU dans le sud-ouest de l'Ontario induisent la production de vitellogénine chez des truites arc-en-ciel mâles en cage. En outre, des œufs ont été observés dans les tissus gonadiques de poissons mâles en aval d'exutoires d'eaux usées. Les produits chimiques responsables de ces observations chez les poissons ont été isolés et identifiés. À l'aide d'un ensemble de techniques chimiques et biologiques, nous avons montré la présence d'hormones femelles naturelles (œstradiol et œstrone), d'un œstrogène synthétique (éthinylœstradiol dans les anovulants), de la testostérone (hormone mâle) et de produits chimiques industriels comme le bisphénol-A (produit dans la fabrication des plastiques à base de polycarbonate, des résines époxy et d'autres produits) et de composés alkylphénoliques (dans les détergents, les shampoings, les cosmétiques, etc.). Tous ces composés sont des perturbateurs endocriniens bien connus. L'un des composés alkylphénoliques, le nonylphénol-polyéthoxylate, est biodégradé dans les SEEU. Les produits de dégradation sont plus œstrogéniques que le matériel de départ. Comme la concentration de ces produits de dégradation est relativement élevée dans les effluents de SEEU, il est très important de déterminer leur activité œstrogénique dans l'élaboration de politiques de gestion du risque. Nos expériences en laboratoire ont montré que l'un de ces produits de dégradation, le nonylphénol-carboxylate, ne se lie pas au récepteur des œstrogènes chez les humains, se lie faiblement au récepteur des œstrogènes chez la truite et n'a aucun effet sur les caractères sexuels des poissons étudiés. Un autre produit de dégradation, le nonylphénol-éthoxylate, a démontré des propriétés œstrogéniques dans nos expériences, mais beaucoup moins prononcées que le nonylphénol, lui aussi un produit de dégradation. Une expérience d'une durée de 21 jours sur le nonylphénol, le nonylphénol-carboxylate et le nonylphénol-éthoxylate à cinq concentrations a été réalisée; les dosages chimiques et biologiques ne sont pas encore terminés. Ces résultats s'appliquent directement à l'évaluation du risque du nonylphénol et du nonylphénol-éthoxylate, deux substances figurant dans la LSIP-2.

Effets nocifs sur la reproduction de l'exposition à des perturbateurs endocriniens apparentés à la dioxine

Robert F Casper MD
Division des sciences de la reproduction, Université de Toronto

Ce projet avait pour but d'étudier les effets des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sur la reproduction. Ces substances, des polluants et des toxiques largement répandus dans l'environnement, sont des sous-produits de la combustion des combustibles fossiles. L'exposition humaine provient principalement des gaz d'échappement, des émissions des appareils de chauffage et particulièrement du tabagisme, tant actif que passif. On a montré que les HAP ont un effet nocif sur la santé en se liant au récepteur AhR (aryl hydrocarbon receptor), ce qui se traduit par l'expression de gènes qui régulent les enzymes pouvant métaboliser les HAP en substances qui se lient à l'ADN et produisent des mutations ou la mort cellulaire. Les résultats de ce métabolisme sont les cardiopathies, le cancer et des anomalies de l'appareil génital, notamment un endommagement des ovules et des spermatozoïdes humains. Nous avons fait appel à deux modèles murins pour étudier le mécanisme des effets nocifs sur la production de spermatozoïdes et les effets toxiques des HAP sur les ovules humains. En outre, nous avons vérifié si un antagoniste naturel des AhR récemment découvert, le resvératrol, qui est produit par des vignes et d'autres végétaux spermatophytes en réponse à une attaque fongique et que l'on retrouve dans certains vins rouges, peut prévenir les effets nocifs observés des HAP.

Nous avons déterminé qu'une augmentation de la dose du benzo(a)pyrène (BaP), un constituant de la fumée de cigarette, réduit la concentration des spermatozoïdes par une association de nécrose et de mort cellulaire programmée. La mort cellulaire programmée résulte obligatoirement d'une programmation génétique provenant habituellement de l'endommagement de l'ADN. Nous avons pu démontrer que le BaP accroît l'induction enzymatique liée à l'AhR et l'endommagement de l'ADN. Nous avons également montré que la mort des spermatozoïdes à la suite d'une administration de HAP pouvait être contrée par l'administration concomitante de resvératrol; ce composé pourrait donc être utilisé pour prévenir l'infertilité masculine. Nous avons également réalisé des expériences préliminaires faisant intervenir la greffe de cortex ovarien humain à des souris NON-SKID (immunodéprimées). Dans cette expérience, nous avons observé les greffons implantés avec succès et le tissu ovarien humain renfermant des follicules primordiaux, primaires et secondaires sains. Nous avons déterminé l'effet sur les follicules ovariens d'un traitement des souris au diol-époxyde 7,12-dibenzo(a)anthracène (DMBA), un autre constituant de la fumée de cigarette. L'expression des gènes de la mort cellulaire a été déterminée dans les follicules et dans les ovules humains contenus dans les follicules. Nous avons montré que le DMBA provoque la mort cellulaire des ovules dans les greffons de cortex ovarien humain par une augmentation de l'expression de gènes de la mort cellulaire tel *Bax*. Ces résultats pourraient expliquer pourquoi les femmes qui fument entrent en ménopause prématurément. Nous avons également montré dans des études préliminaires que le resvératrol pouvait bloquer cette induction des gènes de la mort cellulaire. Enfin, nous avons étudié les effets de l'administration de HAP à des souris gravides ou en lactation pour déterminer si ces substances ont un effet sur la descendance et pour déterminer la toxicité relative d'un transfert de HAP par le placenta et le lait sur la fonction de reproduction future. Jusqu'à maintenant, nous avons montré que les substances chimiques traver-

sent le placenta et qu'elles sont transférées également aux souriceaux par le lait maternel. Dans les deux cas, nous avons observé une induction enzymatique semblable à celle observée dans les expériences susmentionnées. Ces expériences financées dans le cadre de la présente subvention de l'IRST pourraient avoir des répercussions importantes en ce qui concerne l'infertilité masculine et féminine. En outre, le resvératrol, une substance naturelle que l'on retrouve dans certains vins rouges, pourrait offrir une protection contre les effets nocifs des hydrocarbures aromatiques présents dans la fumée de cigarette et des autres hydrocarbures aromatiques que peut contenir l'air ambiant.

Exposition néonatale aux perturbateurs endocriniens dans le liquide amniotique humain

Siu Chan, John Jarrell
Université de Calgary, Alberta

On sait que de nombreuses substances chimiques interagissent avec le système hormonal, notamment chez les animaux sauvages, mais les preuves que les êtres humains sont également affectés sont circonstancielles. Ces substances chimiques sont généralement appelées perturbateurs endocriniens. Mentionnons par exemple les polychlorobiphényles (PCB), les pesticides et les phytœstrogènes, ces derniers étant des composés chimiques produits naturellement chez les plantes. Le présent projet a pour but de déterminer si les nouveau-nés sont exposés à ces substances. Nous avons mis au point des méthodes d'analyse très sophistiquées qui nous permettront de mesurer les contaminants à de très faibles concentrations (moins d'une partie par milliard) dans les liquides organiques à l'aide de petits échantillons, habituellement un à deux mL.

Nos sujets d'étude étaient des femmes du sud de l'Alberta de 35 ans et plus. Elles ont subi une amniocentèse dans le cadre de tests génétiques au cours du deuxième trimestre. À ce moment, un échantillon de sang a également été prélevé. Nous avons effectué une analyse chimique de ces échantillons.

Nos résultats préliminaires n'ont révélé aucune trace de PCB ou de pesticides dans le liquide amniotique. Toutefois, nous avons décelé des phytœstrogènes dans la plupart des échantillons. Les phytœstrogènes que nous avons mesurés étaient la daidzéine et la génistéine, qui proviennent principalement des produits du soja. Leur concentration était beaucoup plus élevée que celle des hormones sexuelles féminines au même stade de la grossesse. Toutefois, les hormones sexuelles féminines sont beaucoup plus puissantes, et il reste à déterminer si la présence de ces substances chimiques a un quelconque effet sur la santé du fœtus.

Les échantillons de sang maternel renfermaient aussi souvent des phytœstrogènes, habituellement à des concentrations dix fois plus élevées que dans le liquide amniotique. Nous avons également mesuré dans les échantillons du DDE, un métabolite du DDT (pesticide), de l'hexachlorobenzène (fongicide) et de nombreux PCB. Il est également intéressant de déterminer si la présence de ces composés dans le sang maternel a un quelconque effet sur la santé du bébé.

Nous avons également prélevé du sang ombilical à la naissance et un échantillon de lait maternel un peu plus tard. On pense que nombre de ces composés sont également présents dans le lait maternel et qu'ils sont transférés au bébé par l'allaitement. En fait, dans une autre étude, nous avons trouvé des PCB, du DDE et de l'hexachlorobenzène dans de nombreux échantillons de lait maternel prélevés chez des Albertaines. Par ailleurs, peu d'échantillons de lait renfermaient des phytœstrogènes.

Chaque sujet a dû répondre à un questionnaire environnemental lors de la consultation génétique précédant l'amniocentèse. Les sujets devaient répondre à des questions ayant trait à l'apport alimentaire, à des régimes particuliers, à la consommation de boissons, à leur état de santé et à leur exposition à des produits chimiques au cours des années précédentes. L'analyse statistique a porté sur les réponses au questionnaire et sur les résultats des épreuves. Observation intéressante, quoique préliminaire : il y avait une corrélation entre l'infertilité au cours de l'année précédente et la présence de phytœstrogènes dans le liquide amniotique. Ce projet en cours présentement devrait porter sur trois cents sujets.

Effets des contaminants de l'environnement sur le temps d'attente avant une grossesse

Donald Cole

Objet La présente étude avait pour but de préciser les liens entre les concentrations parentales de polluants organiques persistants (POP) et de métaux toxiques, les indicateurs biologiques de la santé génésique tels que les concentrations des hormones liées à la reproduction, et le temps d'attente avant une grossesse (TAG). Les substances qui ont un effet sur la fécondité du père et de la mère influencent le TAG.

Méthode Nous avons utilisé les données fournies par un questionnaire et des échantillons biologiques provenant de 62 couples dont la femme était primipare et devait accoucher au St. Joseph's Hospital de Hamilton, en Ontario. Nous avons mesuré les concentrations de pesticides organochlorés, de polychlorobiphényles (PCB) et de métaux dans le sang de la mère et du père, ainsi que dans le sang du cordon ombilical et dans le placenta au moment de la naissance. Dans les échantillons regroupés, nous avons mesuré les dioxines, les furanes et certains types de PCB. Nous avons également mesuré les hormones liées à la reproduction dans le sang de la mère et l'activité de certaines enzymes du placenta dont la concentration et l'activité augmentent en cas d'exposition à des dioxines et à d'autres perturbateurs endocriniens. Dans les analyses statistiques, nous avons examiné les rapports entre les contaminants chez une personne ainsi que les contaminants chez la mère et le père et chez la mère et son bébé. Nous avons également comparé les concentrations des contaminants, les hormones liées à la reproduction et l'activité des récepteurs dans chaque groupe de TAG (un mois, deux à six mois, six mois et plus).

Résultats Des POP (aldrine, chlordane, nonachlore, endosulfan) ont été détectés chez moins de 50 % des mères, des bébés et des pères. D'autres substances (plomb, mercure, PCB, DDE et DDT, mirex, hexachlorobenzène, mélange de dioxines et de furanes) ont été détectées plus souvent. Les quantités relatives de contaminants chez une personne étaient fortement corrélées. En général, les concentrations de contaminants étaient plus élevées chez les pères que chez les mères, et les quantités relatives de chaque contaminant étaient significativement différentes, ce qui indique que la transformation biologique des contaminants varie en fonction du sexe. Les concentrations de contaminants étaient très faibles dans le sang du cordon ombilical. Les concentrations de contaminants étaient semblables dans tous les groupes de TAG, de même que les taux d'hormones chez les mères. L'activité des récepteurs dans le placenta était faible et semblable d'un groupe de TAG à l'autre.

Importance Nos recherches indiquent qu'il serait suffisant de mesurer un plus petit nombre de substances indicatrices plus près du moment de la conception pour déterminer l'exposition aux contaminants dans des études futures, et que la dynamique des contaminants est significativement différente chez les hommes et les femmes. L'absence de relations claires entre les faibles concentrations de POP dans les tissus biologiques et les TAG plus élevés devrait jusqu'à un certain point rassurer le grand public. Toutefois, pour participer à notre étude, un couple devait déjà attendre un enfant, ce qui élimine la population totalement infertile. En outre, comme les participants à l'étude étaient relativement peu nombreux et que les concentrations de contaminants étaient très faibles chez eux, on ne peut pas exclure que des effets puissent être détectés dans des populations plus importantes et davantage exposées.

Absorption journalière d'organoétain chez les humains, immunotoxicité et toxicité pour la reproduction chez les mammifères

Cooke Gerard, Robaire Bernard, Hales Barbara, Trasler Jacquetta, Morales Carlos, Hermo Louis, Brawer James, Cyr Daniel, Tryphonas Helen, Forsyth Don

Le tributylétain, utilisé comme agent antisalissure dans les peintures marines, provoque l'« imposexe » chez les gastéropodes marins, phénomène par lequel la femelle présente un phénotype sexuel mâle qui se traduit par l'infertilité. L'exposition humaine au tributylétain se produit principalement par la consommation d'aliments contaminés; toute la population canadienne est donc à risque. La dose journalière admissible (DJA) du tributylétain est de 0,25 µg/kg de poids corporel/jour; elle est basée sur la toxicité pour le système immunitaire. On ne connaît pas la quantité de tributylétain que la population canadienne absorbe par les aliments. Par conséquent, notre étude en trois volets vise à déterminer la quantité d'organoétain qui contamine l'approvisionnement alimentaire de la population canadienne, les effets d'une exposition continue au tributylétain du début de la gestation jusqu'à l'âge adulte sur le système immunitaire des rats et les effets de l'exposition au tributylétain durant la gestation sur le développement de l'appareil génital des rats.

Nous avons mis au point une méthode pour détecter les organoétains dans les aliments. Plusieurs poissons et fruits de mer frais et conservés contenaient des concentrations de tributylétain pouvant atteindre jusqu'à 300 ng/g. Les di- et monobutylétain étaient présents dans moins d'échantillons et à une plus faible concentration que le tributylétain.

Des rates gravides ont reçu par voie orale 0, 0,025, 0,25 et 2,5 mg/kg de poids corporel/jour de tributylétain à partir du 8e jour de gestation et tout au cours de la lactation, puis les ratons ont reçu la même dose que leur mère jusqu'à l'âge adulte. Toutes les doses de tributylétain ont entraîné une réduction du poids corporel des ratons femelles. Une évaluation courante du système immunitaire des ratons a révélé que la proportion de cellules sanguines responsable de l'élimination des cellules néoplasiques et des infection virales (cellules NK) augmentait de façon significative. L'activité des cellules NK augmentait, notamment chez les ratons mâles, et ce à toutes les doses de tributylétain. L'importance de ces effets sur les cellules NK doit être déterminée, outre les paramètres immunologiques à l'étude présentement.

L'administration orale de tributylétain à raison de 0, 0,25, 2,5, 10 ou 20 mg/kg/jour durant la gestation uniquement, suivie du sacrifice le 20e jour de la gestation (peu avant la naissance) a révélé que les mères présentaient des concentrations significativement plus faibles d'hormones thyroïdiennes dans le sérum. Les fœtus présentaient également des malformations du squelette qui se manifestaient par une augmentation de la fréquence des os non soudés. L'aspect des ovaires et des testicules des fœtus était anormal sous le microscope; le nombre de cellules germinales était réduit. Le tributylétain modifiait l'expression des gènes dans les gonades du fœtus d'une manière liée au sexe : dans les ovaires, le tributylétain réprimait de nombreux gènes et n'en activait que quelques-uns, alors que la situation était inverse dans les testicules.

Dans une étude semblable, mais chez les ratons jusqu'à l'âge adulte, le tributylétain causait un retard dans le développement sexuel des mâles (séparation du prépuce), réduisait le poids des testicules et de la prostate et était responsable d'une mobilité anormale des spermatozoïdes. Chez les ratons femelles, les marqueurs du développement sexuel étaient éga-

lement retardés (ouverture du vagin, premier estrus et premier diestrus). Le profil d'expression des gènes des gonades adultes était également modifié et une différence liée au sexe était évidente, un plus grand nombre de gènes étant affectés par le tributylétain dans les testicules que dans les ovaires. La modification de l'expression génique résultant de l'exposition au tributylétain dans l'utérus était responsable d'effets nocifs à long terme sur la fonction endocrine.

Ainsi, la contamination des aliments par les organoétains est importante. Le système immunitaire et l'appareil génital des mammifères sont sensibles à de faibles doses de tributylétain, et ce dernier est responsable de modifications de l'expression génique liées au sexe. En fait, le tributylétain a des effets nocifs à toutes les doses étudiées. Nos données indiquent que les facteurs de sécurité pour la détermination de la dose journalière admissible de tributylétain chez les humains devront probablement être révisés.

Toxicité du trichloroéthylène pour la reproduction

P.G. Forkert, R.Tardif, M. Wade, N. Tanphaichitr, A. Leader, F.W.K. Kan, S. Bjornason, R. Vincent et D. Blakey

Le trichloroéthylène (TCE) est une substance chimique volatile largement utilisée dans l'industrie automobile et l'industrie des métaux pour le dégraissage à la vapeur et le nettoyage à froid des pièces métalliques. On estime à 3,5 millions le nombre de travailleurs exposés au TCE (NTP, 1988).

Nous avons utilisé un modèle murin pour déterminer les effets toxiques du TCE sur l'appareil génital mâle. Les souris ont été exposées à du TCE (1000 ppm) par inhalation 6 heures par jour, 5 jours par semaine, pendant 1 à 4 semaines. L'exposition après la première semaine a été séparée par une « fin de semaine » de deux jours. Le TCE a été détecté dans le sang quelques minutes après l'exposition, et les concentrations mesurées variaient en fonction de la concentration d'exposition (250, 500 et 1000 ppm). Les produits de la transformation biologique (acide trichloroacétique, trichloroéthanol) ont également été décelés dans le sang et l'urine ainsi que dans le foie et les testicules. Le chloral, un autre produit formé à partir du TCE, a été observé à des concentrations plus élevées dans l'épididyme que dans les testicules. Le chloral était produit par l'enzyme CYP2E1, laquelle a été décelée en plus grande concentration dans l'épididyme que dans les testicules. Ces résultats indiquent que la formation du chloral est liée à un effet toxique du TCE.

L'exposition des souris au TCE se traduisait par des dommages aux cellules épithéliales bordant l'épididyme; nous avons observé une desquamation de ces cellules dans la lumière après 4 semaines. Une observation à haute résolution a montré que les spermatozoïdes présents dans l'épididyme étaient endommagés. En outre, les membranes cellulaires et les structures à l'intérieur des cellules étaient altérées. Ces altérations ont été observées dès la première semaine d'exposition au TCE.

La fonction des spermatozoïdes a été étudiée chez des souris après une exposition au TCE. Nous avons prélevé des spermatozoïdes dans l'épididyme et les avons incubés avec des ovules matures pour évaluer leur capacité de se lier aux ovules. Le nombre de spermatozoïdes liés aux ovules a été utilisé comme indicateur de leur capacité de se lier aux ovules. La capacité des spermatozoïdes de se lier aux ovules a diminué respectivement de 56, 20 et 38 % après une exposition de 2, 4 et 6 semaines au TCE.

Pour déterminer la pertinence des résultats chez les souris pour les humains, nous avons recruté dans notre étude 10 mécaniciens d'automobile utilisant du TCE régulièrement. Les paramètres du sperme ont été évalués conformément aux critères de l'Organisation mondiale de la Santé ainsi que par la réaction acrosomique (capacité de libération du capuchon qui recouvre la tête du spermatozoïde). Un seul sujet présentait des paramètres du sperme normaux. Les autres sujets présentaient au moins une anomalie des paramètres du sperme. Un sujet présentait des paramètres du sperme relativement normaux, mais la liaison spermatozoïde-ovule n'était que de 25 % de celle des témoins. Ces résultats indiquent que les spermatozoïdes de ces sujets sont déficients et que cet effet peut être associé, parmi d'autres facteurs, à l'exposition au TCE.

Nous avons également étudié le développement des spermatozoïdes chez des souris exposées au TCE. Sept sous-populations de cellules spermatogènes ont été isolées et leur niveau de maturité a été évalué. Une exposition pendant 3 jours a causé une réduction d'environ 45 % du nombre de cellules aux premiers stades du développement par rapport aux témoins. Après 2 semaines d'exposition, nous avons observé une reprise, et le nombre de cellules a augmenté et a atteint les valeurs normales après 4 semaines. En outre, la production de testostérone était légèrement réduite après 3 jours, mais elle était relativement

normale après 4 semaines. Ces résultats indiquent que les effets du TCE sur le développement des spermatozoïdes sont transitoires.

Dans l'ensemble, nos résultats indiquent que le TCE a des effets nocifs sur l'appareil génital mâle qui pourraient mener à une diminution de la fécondité.

Culture de thymus fœtal pour la détermination des effets des perturbateurs endocriniens sur les organes

Bernier, J., Cyr, D., Fournier, M., Potworowski, E.F.

Au cours des 20 dernières années, on a observé une sensibilisation accrue dans les secteurs industriels, universitaires, réglementaires et publics aux risques pour la santé liés à l'exposition aux substances chimiques toxiques persistantes, notamment celles qui ont un effet sur le système endocrinien. Ces polluants, que l'on regroupe sous l'appellation de perturbateurs endocriniens, comprennent des composés qui font partie de diverses catégories chimiques (métaux lourds, polychlorobiphényles, dioxines, bisphénols, etc.). Une quantité impressionnante de données montrent que ces substances peuvent avoir un impact important sur la santé en cas d'exposition, même à de faibles doses, à des périodes critiques du développement embryonnaire. Les experts s'entendent sur le fait que ces composés peuvent avoir, directement ou indirectement, des effets négatifs sur quatre paramètres physiologiques importants : le système endocrinien, l'appareil génital, le système nerveux et le système immunitaire. La question de la période critique d'exposition est particulièrement importante lorsque l'on tente d'établir le pouvoir immunotoxique d'un composé qui pourrait agir comme perturbateur endocrinien dans le développement du système immunitaire, étant donné que toute les épreuves utilisées actuellement sont conçues pour évaluer l'immunotoxicité d'un composé lorsque l'exposition et les effets toxiques se font sentir à l'âge adulte.

Dans le programme actuel, nous voulons déterminer la sensibilité des cultures de thymus fœtal face à une exposition à des perturbateurs endocriniens et à des mélanges appropriés de contaminants environnementaux de façon à valider l'utilisation de ces cultures comme outils de dépistage des substances soupçonnées d'être des perturbateurs endocriniens. Pour valider ce modèle, nous proposons d'utiliser un ensemble de protocoles d'exposition *in vitro* et *in vivo*

La première étape consistait à déterminer les différences liées au sexe et les effets d'une modulation hormonale sur la différenciation des lymphocytes T. Cette partie de la recherche constitue une étape très importante dans la validation de cette épreuve de détermination des effets des perturbateurs endocriniens sur les organes. Premièrement, nous avons pu démontrer, dans le thymus en développement, l'absence de différences liées au sexe dans l'expression des récepteurs hormonaux ainsi que dans la proportion des sous-populations de lymphocytes-T. Ces résultats, qui constituent des données biologiques importantes, permettent de simplifier les méthodes en rendant facultatif l'établissement du sexe de l'embryon avant le prélèvement du thymus. En outre, cette partie du programme de recherche s'est révélée essentielle pour démontrer clairement la sensibilité du processus de différenciation des lymphocytes-T aux variations hormonales, du moins dans le cas des œstrogènes et des hormones thyroïdiennes. Pour obtenir un tableau complet, nous sommes en train d'étudier les effets de l'addition d'hormones sur les molécules d'adhésion et les récepteurs hormonaux. Nous étudions également l'importance biologique de ces sous-populations de thymocytes sur l'immunocompétence des petits et des adultes. Ces travaux sont effectués dans le cadre d'un traitement médicamenteux. Il est très intéressant de signaler les effets différents observés sur les œstrogènes et les hormones thyroïdiennes. Il est également important de signaler la sélectivité de la sous-population visée par les variations hormonales, alors que les effets des métaux lourds s'exercent sur plu-

sieurs sous-populations de thymocytes. Ces résultats suggèrent fortement que le modèle peut établir une nette distinction entre la modulation endocrinienne et une cytotoxicité générale plus courante. Cette épreuve peut donc s'ajouter à la batteries d'épreuves utilisées pour déterminer la toxicité des médicaments et des substances chimiques avant leur approbation.

Effets des contaminants persistants sur les fonctions immunitaire et thyroïdienne et sur le développement de l'appareil génital des oisillons de goéland argenté dans les années 1990

G.A. Fox, L. Shutt, K.A. Grasman et F.M.A. McNabb

Le Goéland argenté est souvent utilisé comme espèce sentinelle pour mesurer les concentrations et les effets des contaminants dans les chaînes alimentaires des Grands Lacs. Nous avons examiné la fonction immunitaire, l'« économie thyroïdienne » et le développement de la fonction de reproduction chez des oisillons de Goéland argenté provenant de colonies dans les Grands Lacs inférieurs et d'une colonie témoin dans la baie de Fundy en rapport avec les concentrations d'une série de contaminants persistants dans leurs tissus. Nous avons prélevé les échantillons à deux étapes du développement, l'embryon presque arrivé à terme (stade du bêchage) et l'oisillon de 4 semaines (avant l'envol).

Nous avons régulièrement observé une suppression de l'immunité à médiation cellulaire et des altérations de la production des anticorps suivant un test de provocation normalisé chez les oisillons de Goéland argenté provenant d'endroits dans les Grands Lacs fortement contaminés par les polychlorobiphényles (PCB). Ces effets fonctionnels s'accompagnaient d'une atrophie du thymus et d'une réduction du nombre et de la viabilité des cellules des bourses séreuses.

En accord avec l'hypertrophie de la glande thyroïde (goitre) observée chez les Goélands argentés adultes provenant des Grands Lacs dans les années 1970 et 1980, nous avons observé toutes les années des concentrations plus faibles de thyroxine plasmatique et du goitre chez les oisillons avant l'envol provenant des endroits à forte teneur en PCB, un signe d'hypothyroïdie. Les embryons au stade du bêchage présentaient des signes de carence en hormone thyroïdienne, mais leur concentration de thyroxine sérique n'a indiqué une hypothyroïdie qu'en 2000. Dans l'ensemble, nos résultats concordent avec l'hypothèse que les PCB dans le milieu altèrent la fonction thyroïdienne durant le développement embryonnaire et peu après l'éclosion.

Nous avons souvent observé des nodules de cellules ovariennes embryonnaires résiduelles dans les testicules des oisillons nouvellement éclos dans une colonie provenant du lac Ontario dans le milieu des années 1970. Dans nos études actuelles, nous avons trouvé davantage de ces nodules et d'autres anomalies gonadiques dans les testicules des embryons au stade du bêchage de colonies provenant d'endroits des Grands Lacs plus contaminés que l'endroit témoin, et ces nodules persistaient chez les oisillons non encore prêts à voler. Nous mesurons actuellement les concentrations de vitellogénine, une protéine induite par les œstrogènes, dans le plasma des oisillons avant l'envol comme indice fonctionnel de l'exposition au nonylphénol et à d'autres substances œstrogéniques.

Les PCB et le DDE était les résidus les plus abondants dans les œufs, le sac vitellin des embryons au stade du bêchage et le foie des oisillons avant l'envol. Dans le foie des oisillons avant l'envol, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), le mercure, le cadmium, le sélénium et le plomb étaient présents en très faibles concentrations. Observation inattendue, les concentrations de nonylphénol étaient semblables à celles de DDE. Ces données corroborent notre hypothèse que les PCB sont les contaminants les plus susceptibles d'être associés à des effets

sur le système immunitaire et la fonction thyroïdienne, mais que le DDE et le nonylphénol pourraient avoir un effet sur le développement de l'appareil génital. Il semble que les concentrations actuelles de contaminants dans les chaines alimentaires des Grands Lacs inférieurs sont suffisamment élevées pour avoir un effet sur le système immunitaire, la fonction thyroïdienne et le développement de l'appareil génital de cette espèce piscivore résidente. Nos résultats permettront de mieux comprendre les rapports entre ces effets endocriniens et les divers contaminants et pourront s'appliquer également à d'autres populations sauvages piscivores ainsi qu'aux sous-populations humaines vulnérables dans le bassin des Grands Lacs.

Effets d'un œstrogène synthétique sur des populations aquatiques : expérience sur un lac entier dans la région des lacs expérimentaux

Karen Kidd

On dispose d'une quantité considérable de données indiquant qu'une foule de composés se comportant comme des hormones ont des effets sur les organismes aquatiques qui y sont exposés. Les poissons exposés à ces composés présentent souvent toute une gamme de réponses, dont une production hormonale plus faible et des gonades de taille réduite, et les mâles subissent une féminisation qui se traduit par la production de protéines propres aux ovocytes et d'ovocytes. Des études récentes ont révélé des concentrations élevées de précurseurs d'une protéine de l'ovocyte, la vitellogénine, chez les poissons mâles en aval de stations d'épuration des eaux usées. Des œstrogènes naturels et synthétiques (anovulants et agents d'hormonothérapie substitutive) d'origine féminine, qui ne sont pas complètement dégradés dans les stations d'épuration des eaux usées, se retrouvent dans le milieu aquatique. Les effluents d'eaux usées renferment diverses substances, mais on pense que ce sont les œstrogènes qui sont principalement responsables des effets observés chez les poissons en aval de ces stations. Toutefois, on ne sait pas si ces hormones mimétiques puissantes ont un effet sur la capacité des poissons de se reproduire et de maintenir leurs populations. L'expérience suivante a été conçue pour combler cette lacune.

Nous réalisons une expérience à l'échelle d'un lac entier dans la région des lacs expérimentaux (www.umanitoba.ca/institutes/fisheries), dans le nord-ouest de l'Ontario, pour déterminer les effets à court et à long terme d'un œstrogène synthétique sur des populations aquatiques bien définies. Le lac choisi pour l'expérience, le lac 260, fait l'objet de dossiers à long terme sur les populations de poissons, sa superficie est de 34 hectares et sa profondeur maximale est de 14 m. En 1999 et 2000, nous avons recueilli de l'information de base sur la taille des populations, la reproduction (p. ex. taille des ovocytes et stade de maturation) et plusieurs mesures biochimiques (comme la vitellogénine et les hormones) sur les poissons dans ce lac et dans plusieurs lacs de référence. Nous avons également recueilli et analysé des échantillons de base d'algues, de bactéries, de zooplancton, de têtards, de sangsues et d'autres invertébrés de fond pour déterminer si les hormones mimétiques peuvent avoir un effet direct sur les organismes consommés par les poissons. Au cours de l'été 2001, nous avons ajouté une hormone synthétique, l'éthynylestradiol (utilisé dans les anovulants), continuellement à la surface de l'eau du lac 260 à des concentrations semblables à celles que l'on retrouve dans l'environnement. Cet œstrogène est dégradé rapidement par des bactéries présentes dans le lac; les concentrations dans l'eau diminuent donc rapidement dès qu'on cesse d'en ajouter.

Les recherches effectuées en 1999 et en 2000 sur le lac 260 et les lacs de référence ont été répétées en 2001 pour étudier les effets de cet œstrogène sur les poissons et le biote de niveau trophique inférieur. Jusqu'à maintenant, nous avons trouvé des concentrations élevées de vitellogénine chez les poissons mâles et femelles capturés dans le lac traité, ce qui indique une perturbation de leur fonction hormonale normale. Nous avons également observé un taux réduit d'éclosion des œufs de grenouille verte exposés à l'œstrogène, mais aucun effet sur les communautés bactériennes et algales. Bon nombre des échantillons prélevés en 2001 et des données sur les populations de poissons font l'objet d'un examen d'effets initiaux sur les individus et les populations. Pendant plusieurs années après l'addition de l'œstrogène, nous continuerons de surveiller

les populations aquatiques dans le lac 260 pour déterminer si les effets sont à court ou à long terme, et pour déterminer le moment et l'ampleur de la récupération. Les résultats seront importants pour déterminer si les hormones mimétiques influencent la capacité des organismes aquatiques de se reproduire et de maintenir la taille de leur population. En outre, ils permettront de mieux comprendre les risques que ces composés présentent pour la faune.

Évaluation endocrinienne détaillée chez les poissons sauvages et caractérisation des perturbateurs endocriniens responsables dans les endroits avoisinant les usines de pâtes

Mark McMaster, Mark Hewitt, Mohan Kohli
CCEI (Burlington) et
Glen Van Der Kraak
University of Guelph (Guelph)

L'altération de la fonction de reproduction chez les poissons exposés aux effluents des usines de pâtes constitue l'un des cas les mieux documentés de perturbation endocrinienne de la faune au Canada. À la suite d'une modification de la réglementation en 1993, les effluents rejetés par les usines de pâtes et papiers ont beaucoup été améliorés, mais cette réglementation n'aborde pas les effets chroniques sur la reproduction observés chez les populations de poissons sauvages. Une certaine amélioration de la fonction de reproduction a été observée à certains endroits, mais on note encore une altération des concentrations de stéroïdes et du développement des gonades. Dans les conclusions de l'Étude sur les bassins des rivières du Nord réalisée au milieu des années 1990, on notait des effets similaires sur la reproduction des poissons sauvages en aval de certaines des usines de pâtes les plus modernes au Canada. À l'époque, on a recommandé d'effectuer une évaluation poussée de la fonction endocrine de ces poissons. Le présent projet avait trois objectifs : 1) étudier la fonction de reproduction des poissons sauvages dans le bassin des rivières du Nord en aval de trois des usines de pâtes les plus modernes au Canada pour déterminer la présence d'effets sur la reproduction, 2) rechercher *in vitro* la présence de composés à action endocrinienne dans les effluents de diverses usines de pâtes en fonction des différentes techniques d'obtention de la pâte et de traitement utilisées et 3) étudier les substances à action endocrinienne accumulées par les poissons dans le cadre d'essais *in vitro* et établir une corrélation entre ces composés et la réponse des poissons observée en 1).

Des poissons sauvages ont été capturés à un certain nombre d'endroits en amont et en aval de sources d'effluents dans deux réseaux hydrographiques différents des bassins des rivières du Nord, en Alberta. Les divers laboratoires qui participaient à l'étude ont analysé tous les paramètres endocriniens relatifs à la reproduction connus à l'heure actuelle dans les échantillons prélevés. Les comparaisons effectuées jusqu'à maintenant entre les poissons témoins capturés en amont et ceux exposés aux effluents capturés en aval ont montré des altérations de la fonction de reproduction, notamment en aval d'un point de rejet d'effluent d'eaux usées municipales. Des échantillons d'effluent ont également été prélevés de 10 usines de pâtes et papiers canadiennes et ont été acheminés au laboratoire de Burlington. Les résultats préliminaires des diverses analyses des extraits d'effluents indiquent que tous les échantillons renferment des composés présentant une activité endocrinienne. Nous procédons actuellement à des comparaisons entre les différentes usines pour déterminer si un procédé ou une stratégie de traitement est plus efficace. Les premières études en cage ont également été réalisées près de deux usines où des effets sur la reproduction des poissons sauvages ont déjà été observés. Un extrait des foies regroupés de ces poissons a été séparé en différentes fractions en fonction de leur liposolubilité. Nous soumettons maintenant ces fractions à différentes épreuves liées à la fonction endocrinienne pour

déterminer les fractions responsables des effets observés et les substances en cause. Lorsque les analyses liées aux trois objectifs seront terminées, nous analyserons l'ensemble des résultats pour tenter d'en arriver à des conclusions concrètes concernant les effets des différents procédés et stratégies de traitement sur la fonction endocrinienne des populations de poissons.

Effets des perturbateurs endocriniens sur la reproduction des poissons

Chris D. Metcalfe
Études de l'environnement et des ressources, Université Trent

Les perturbateurs endocriniens (PE) sont des substances chimiques capables de modifier la biologie de la reproduction des animaux sauvages, notamment des poissons, et des humains. Des techniques ont été mises au point pour détecter si les poissons et les autres animaux ont été exposés aux PE. Toutefois, peu de travaux ont tenté de déterminer si l'exposition aux PE peut avoir un effet sur leur capacité de reproduction. Lorsque les organismes ne peuvent pas se reproduire, il y a risque d'extinction de la population; le risque est particulièrement élevé lorsque l'exposition aux PE est associée à d'autres agents de stress comme la perte d'habitat, le changement climatique et la pêche (ou la chasse) excessive. Le présent projet a pour objet de déterminer les effets de l'exposition aux PE sur la capacité de reproduction des poissons dans le cadre d'expériences en laboratoire et sur le terrain. Lors des études réalisées sur le terrain en 1999 et 2000, des barets ont été capturés à plusieurs endroits dans le lac Ontario et le lac Érié, y compris Coote's Paradise dans le port de Hamilton, la baie de Quinte, le lac Saint-Clair, l'ouest du lac Érié et la rivière Detroit. L'intersexualité au niveau des gonades a été observée chez 18 à 80 % des barets mâles capturés dans toutes ces zones. L'intersexualité se manifeste au microscope par la présence de tissu ovarien femelle réparti dans les testicules des mâles. On ne sait pas si cette intersexualité peut avoir un effet sur la capacité des poissons mâles de frayer. Pour répondre à cette question, nous avons réalisé une expérience de laboratoire dans laquelle nous avons exposé un poisson d'aquarium, le médaka, à un œstrogène synthétique utilisé dans les anovulants, l'éthinylœstradiol. On retrouve ce composé à des concentrations de l'ordre des parties par trillion dans les effluents des stations d'épuration des eaux usées qui se jettent dans les Grands Lacs. Chez les médakas mâles exposés à des concentrations d'éthinylœstradiol de 10 parties par trillion, la reproduction avec des femelles non exposées était presque nulle. Chez ces poissons mâles, plus de la moitié avaient des gonades intersexuées, ce qui nous a incité à spéculer que les mâles présentant l'intersexualité sont incapables de se reproduire. Toutefois, dans cette expérience, tant les mâles normaux que les mâles intersexués étaient incapables de frayer avec les femelles. Il semble que d'autres facteurs, comme l'altération du comportement d'accouplement, pourraient être responsables de la piètre performance de reproduction des poissons mâles exposés aux œstrogènes. Ces résultats sont importants, car ils indiquent que l'exposition aux PE œstrogéniques nuit à la reproduction des poissons. Les pêches commerciale et sportive dans le lac Ontario et le lac Érié sont des industries qui valent plusieurs millions de dollars. L'incapacité des poissons des Grands Lacs inférieurs de se reproduire à cause de l'exposition aux PE aura évidemment un impact négatif sur l'économie canadienne.

Effets des perturbateurs endocriniens chez les ours polaires

Ross Norstrom, Ian Stirling, Nick Lunn, Stelvio Bandiera, Robert Burk, Hans-J. Larsen, Janneche Skaare, Andrew Derocher, Oystein Wiig

Les ours polaires sont situé au sommet de la chaine alimentaire dans l'Arctique; en effet leur régime se compose essentiellement de phoques. Étant donné que les ours polaires ne peuvent pas se nourrir pendant de longues périodes, ils doivent se constituer beaucoup de réserves, de préférence en consommant de la graisse de phoque. Comme des produits chimiques toxiques persistants comme les PCB et les DDT s'accumulent dans ces graisses, les ours polaires sont exposés à des concentrations élevées de ces substances. On considère que l'ours polaire est l'animal arctique qui court le plus de risques de subir des effets des produits chimiques toxiques persistants. Outre les substances elles-mêmes, certains produits de dégradation (métabolites) s'accumulent chez le phoque et l'ours et peuvent accentuer de façon significative les effets toxiques. Le présent projet aborde trois sujets de préoccupation ayant trait à la toxicité.

Le premier est l'effet sur le système immunitaire, lequel est considéré comme l'un des plus sensibles aux effets des composés organiques halogénés. Les PCB sont habituellement impliqués. D'autres catégories de composés doivent être envisagées, notamment les composés et métabolites du chlordane chez les ours polaires. Des études en Norvège ont montré que les ours de l'Arctique européen, qui sont plus contaminés que ceux du Canada, présentent un système immunitaire déprimé. On pense que ce serait dû aux PCB, dont la concentration est significativement plus élevée dans cette région qu'au Canada. Afin de déterminer si cet effet s'observe également à de plus faibles exposition aux PCB, l'étude a été répétée à Churchill (Man.) au cours de l'été de 1999. Les résultats du Svalbard indiquent clairement que les IgG sont négativement corrélées aux concentrations totales de PCB dans le sang, ce qui indique un effet immunotoxique possible. Par conséquent, l'effet devrait se révéler moins important chez les ours polaires du Canada. Lorsque l'analyse des données sera terminée, les expériences d'immunotoxicologie permettront de mieux comprendre le système immunitaire et les fonctions hormonales des ours polaires soumis à des niveaux élevés de pollution, comparativement aux ours polaires vivant dans des milieux moins pollués, et de mieux comprendre les effets de la pollution. Les scientifiques norvégiens ont mis au point des réactifs et des méthodes pour mesurer la fonction immunitaire des ours polaires et pour déterminer l'état de la population en fonction du temps. Il est important de réaliser des études pathologiques sur les effets des PCB sur le système immunitaire des ours polaires, sur leur réponse immunitaire et sur leur résistance aux infections pour mettre au point de bonnes méthodes de surveillance.

La deuxième étude avait pour but de déterminer si les PCB ont un effet sur le métabolisme de la testostérone chez les ours mâles. Si la testostérone est métabolisée plus rapidement ou différemment chez les ours fortement exposés aux PCB, la reproduction de ces derniers pourrait en être affectée. Cette étude examinait également comment les divers types de PCB sont métabolisés par les ours. Certaines corrélations ont été établies entre les différents types de métabolites formés et l'exposition à certaines variétés de PCB, ce qui indique que les PCB peuvent avoir un effet sur la fonction endocrinienne des ours polaires. Des données indiquent que la concentration de testostérone est plus faible dans le sang des ours mâles dont la concentration de PCB est plus élevée. Les recherches devront être étendues aux ours polaires femelles.

La troisième partie du projet avait pour but d'étudier l'effet des métabolites de PCB

persistants (appelés PCB hydroxylés) sur le transport de la thyroxine et de la vitamine A dans le sang, qui s'effectue grâce à la liaison à une protéine spéciale dans le sang. Certains PCB hydroxylés ont une structure chimique très semblable à celle de la thyroxine (la principale forme d'hormone thyroïdienne transportée dans le sang), et la déplacent au niveau de la protéine, ce qui empêche la vitamine A de se lier et abaisse ainsi la concentration sanguine de thyroxine et de vitamine A. La thyroxine et la vitamine A sont importantes pour la croissance et la bonne santé des tissus. Nous avons observé que la capacité de liaison de la thyroxine dans le plasma est inversement corrélée à la concentration des PCB hydroxylés, alors que la concentration de vitamine A dans le plasma est inversement corrélée à la concentration totale des PCB. Ces résultats indiquent que les PCB hydroxylés peuvent intervenir au niveau du transport des hormones thyroïdiennes alors que les concentrations de PCB agissent sur la concentration de vitamine A par un mécanisme différent. Toutefois, une association des deux effets peut influencer la croissance et le développement.

Incidence des perturbateurs endocriniens sur la santé des amphibiens dans les écosystèmes agricoles

Bruce Pauli
Environnement Canada, Service canadien de la faune, Centre national de la recherche faunique
John Elliott, Doug Forsyth, Brian Dixon, Michael Berrill, Alice Hontela

Les recherches effectuées dans le cadre de ce projet de l'IRST avaient pour principal objectif d'étudier les effets des contaminants de l'environnement sur les amphibiens qui vivent dans des zones agricoles. Plus précisément, nous voulons déterminer si les contaminants utilisés en agriculture (notamment les pesticides et les engrais) ont des effets négatifs sur ces amphibiens. Les contaminants agricoles qui interviennent dans le fonctionnement normal du système endocrinien de ces animaux, appelés perturbateurs endocriniens (PE), nous ont particulièrement intéressés.

Nous avons procédé en déterminant l'« état de santé » des amphibiens qui vivent dans les zones agricoles et en exposant des amphibiens en laboratoire à des contaminants que l'on retrouve dans ces zones agricoles. Nous avons évalué les effets des contaminants en étudiant les résultats de mesures comme la toxicité aiguë, l'état hormonal et physiologique, les anomalies physiques et les troubles de croissance, la fonction immunitaire, le développement sexuel et la différenciation sexuelle.

Les résultats obtenus jusqu'à maintenant indiquent que des produits agrochimiques peuvent avoir des effets néfastes sur les amphibiens qui y sont exposés. Par exemple, les hormones thyroïdiennes sont très importantes pour les amphibiens, car elles interviennent directement dans la transformation de la larve en adulte lors de la métamorphose. Nos travaux indiquent la possibilité d'une diminution des concentrations d'hormones thyroïdiennes dans le sang des animaux exposés à des contaminants agricoles. Ce phénomène peut avoir des conséquences importantes sur la capacité de certains animaux d'achever leur métamorphose, ou peut influencer la durée du stade larvaire, ce qui peut causer des problèmes dans les zones où les animaux doivent achever leur métamorphose avant l'assèchement des plans d'eau temporaires où ils se développent. Nous avons également observé un affaiblissement du système immunitaire chez des animaux exposés à des pesticides. Cet effet peut réduire la capacité des animaux à résister aux maladies et peut expliquer pourquoi on observe une fréquence accrue des maladies chez les amphibiens. Dans un autre exemple, nos résultats confirment également que les contaminants agricoles sont responsables d'une augmentation de la fréquence des animaux présentant des troubles de croissance graves. Par exemple, nous avons observé des problèmes au niveau du développement sexuel au laboratoire et une fréquence beaucoup plus élevée de malformations au cours du développement chez les animaux qui se reproduisent dans des étangs agricoles que chez les animaux qui se reproduisent dans des étangs voisins moins contaminés.

Dans certaines zones d'agriculture intensive, les étangs agricoles peuvent être le seul habitat où les amphibiens peuvent vivre et se reproduire. Nos résultats montrent que des contaminants du milieu qui pénètrent dans ces étangs peuvent avoir des effets néfastes sur les amphibiens. Le déclin des populations d'amphibiens à l'échelle de la planète étant maintenant un phénomène largement reconnu, il est important de déterminer toutes les causes potentielles de ce déclin. Nous espérons également être en mesure de trouver des méthodes

permettant de réduire l'exposition de ces animaux. Enfin, il est également important de déterminer les périodes critiques du cycle vital des amphibiens au cours desquelles ces animaux ne devraient pas être exposés à des produits chimiques agricoles.

Action de la P-glycoprotéine sur la perturbation environnementale du système endocrinien

Reinhart Reithmeier, Jeffrey Charuk
Université de Toronto

Cette étude porte sur le fonctionnement de la « pompe à molécules » de type P-glycoprotéine, qui est présente dans les reins, le foie et les voies gastro-intestinales, et qui pourrait jouer un rôle dans les mécanismes protégeant ces organes des contaminants environnementaux.

Exposition aux perturbateurs endocriniens et effets de ces substances dans le cadre de pratiques agricoles intensives

Mark Servos, Neil Burgess, Kent Burnison, Ken Doe, Bill Ernst, Mark Hewitt, Ed Topp, Mark McMaster, Chris Metcalfe, Jim Sherry, Kevin Teather, Glen Van Der Kraak

Il est bien connu que les diverses pratiques d'agriculture intensive peuvent exposer les écosystèmes aquatiques à des produits chimiques. Les diverses substances chimiques appliquées sur les champs agricoles peuvent pénétrer dans les plans d'eau voisins, soit directement soit par ruissellement. Beaucoup de ces substances peuvent perturber la fonction endocrinienne et peuvent donc nuire à la reproduction et au développement d'organismes sensibles dans ces milieux. Les principaux secteurs préoccupants associés à ces activités et substances chimiques sont les suivants :

a) Une gamme étendue de pesticides sont largement utilisés, dont plusieurs sont soupçonnés d'être des perturbateurs endocriniens (PE); bien que les pesticides fassent l'objet d'une réglementation et d'un contrôle rigoureux, la possibilité d'une perturbation endocrinienne soulève de nouvelles préoccupations.

b) Des déchets animaux (fumier) renfermant de grandes quantités de PE potentiels (p. ex. 17β-œstradiol) sont appliqués sur les champs comme engrais et à des fins de gestion des déchets; la taille et la densité des établissements de production animale au Canada augmentent rapidement.

c) Des boues d'épuration sont couramment utilisées comme amendement du sol; on dispose de peu de données sur la mobilité et le devenir des PE qu'ils renferment; on a signalé que les stations canadiennes d'épuration des eaux usées renferment des PE, notamment des alkylphénols, ainsi que des œstrogènes naturels et synthétiques.

Le présent projet avait pour but d'étudier et de documenter l'exposition et les effets associés à ces types de substances résultant des pratiques d'agriculture intensive au Canada. Des études effectuées dans l'Î.-P.-É. et au Nouveau-Brunswick ont documenté l'exposition des cours d'eau à divers pesticides, mais peu d'effets directs sur la fonction endocrinienne ont été décelés chez les poissons ou les amphibiens. Des études effectuées sur des fermes dans le sud de l'Ontario ont permis d'isoler et d'identifier un certain nombre de composés à action endocrinienne dans les déchets animaux, notamment des œstrogènes naturels et des métabolites de phytœstrogènes (produits végétaux naturels). On a observé que ces composés se déplacent dans les sols et les drains en tuyaux et pénètrent dans les cours d'eau voisins immédiatement après une application de fumier et des précipitations. Les réponses biologiques des organismes aquatiques dans ces cours d'eau ont été déterminées durant de tels épisodes d'exposition à court terme. Des constituants des eaux usées et des boues d'épuration qui sont couramment appliquées sur les champs se sont également révélés avoir un effet œstrogène dans des systèmes en laboratoire. Ces composés que l'on retrouve dans des échantillons prélevés un peu partout au pays comprennent des contaminants tels des alkylphénols, du bisphénol-A, des produits pharmaceutiques et des œstrogènes naturels. Des épreuves en laboratoire ont permis de déterminer l'activité œstrogénique et la dose-réponse de plusieurs de ces substances chimiques de façon à mettre au point des méthodes d'évaluation du risque et de gestion du risque. Divers composés œstrogéniques décelés dans les systèmes agricoles semblent pouvoir pénétrer dans les cours d'eau voisins. Lorsque les meilleures pratiques de gestion

sont respectées, l'ampleur et la durée de l'exposition sont limitées et les effets éventuels sur l'environnement sont réduits. Toutefois, l'importance écologique de ces expositions, notamment durant les étapes critiques du développement des organismes sensibles, demeure une préoccupation.

Méthodes d'analyse des effets des perturbateurs endocriniens chez des poissons entiers en laboratoire

Glen Van Der Kraak, Simon Courtenay, Robert Devlin, Deb MacLatchy, Chris Metcalfe et Joanne Parrott

De nombreuses études ont montré que des aspects de la croissance, de la reproduction et du développement des poissons sont sensibles aux effets des perturbateurs endocriniens que l'on retrouve dans l'environnement au Canada. Par conséquent, on note beaucoup d'intérêt à l'échelle internationale pour la mise au point, la validation et la normalisation de protocoles d'analyse en laboratoire faisant appel à des poissons pour déterminer les effets éventuels de composés purs et de mélanges d'effluents complexes à activité endocrinienne. Le présent projet consiste à évaluer une série de conditions d'essai et de paramètres pouvant être utilisés pour définir la réponse de certaines espèces de poissons aux perturbateurs endocriniens à divers moments de leur développement.

La mise au point de méthodes d'analyse à court et à long terme consistait à exposer des animaux entiers à une série de composés étalons à l'activité endocrinienne connue. Ces composés comprenaient un agoniste œstrogénique puissant (éthinylœstradiol), un antagoniste œstrogénique puissant (ZM-189, 154) ainsi qu'un agoniste androgénique (méthyltestostérone) et un antiandrogénique (acétate de cyprotérone). Plus précisément, les conditions d'analyse étudiées comprenaient : 1) une épreuve au début du développement s'étendant du développement de l'œuf jusqu'à l'éclosion et l'alevin nageant, 2) une épreuve sur la reprise du développement gonadique évaluant le développement des gonades, 3) une épreuve sur la reproduction de l'adulte évaluant la maturation des gonades et le succès de reproduction et 4) une épreuve portant sur la totalité du cycle vital comprenant l'éclosion de l'embryon jusqu'au développement reproductif et se poursuivant par la détermination de la viabilité de la génération F1. Les recherches ont fait appel à des espèces indigènes (tête-de-boule, choquemort, saumon quinnat) et à une espèce modèle en laboratoire (médaka). À l'heure actuelle, ces épreuves servent à analyser des échantillons du milieu prélevés près d'usines de pâtes et de stations d'épuration des eaux usées pour déterminer les effets sur la reproduction et le développement des poissons.

Ces études ont montré qu'il existe des différences marquées dans la réponse et la sensibilité des poissons aux perturbateurs endocriniens au cours du développement. L'exposition de poissons immatures et sexuellement matures à des concentrations élevées de composés modèles pendant à peine 7 jours se traduit par des changements significatifs au niveau de la concentration des stéroïdes sexuels dans le plasma. Dans des épreuves à plus long terme, la fertilité s'est révélée un paramètre beaucoup plus sensible, les seuils de réponse étant souvent réduits d'un facteur de dix ou cent. Dans d'autres études, les premiers stades du développement se sont révélés particulièrement vulnérables aux effets de l'éthinylœstradiol, des effluents des usines de pâtes et des effluents des stations d'épuration des eaux usées. Dans ces cas, l'exposition durant la période de différentiation sexuelle a donné lieu à des changements dans le développement des gonades, notamment une inversion phénotypique du sexe qui est apparue plus tard au cours du cycle vital. Ces études nous ont porté à conclure en général que les poissons examinés étaient plus sensibles aux composés à action œstrogénique qu'aux composés à action androgénique.

Dans l'ensemble, ces études ont contribué à la mise au point et à la validation d'une série d'épreuves portant sur des poissons entiers que l'on peut utiliser en eaux marines ou douces pour déterminer la réponse des poissons aux perturbateurs endocriniens.

Polluants atmosphériques

Les polluants atmosphériques affectent la qualité de l'air en milieu urbain. L'exposition à ces polluants peut entraîner diverses affections respiratoires et cardiaques. Depuis son lancement en 1998, l'Initiative de recherche sur les substances toxiques a alloué plus de 7,2 millions de dollars pour le financement de 20 projets de recherche ciblant le domaine des polluants atmosphériques.

Pour les années financières 1999-2000 et 2000-20001, les candidats devaient accélérer les activités de recherche ayant pour but de caractériser la qualité de l'air en milieu urbain et l'exposition des humains aux polluants atmosphériques et leurs effets sur le système cardio-respiratoire.

Pour les années financières 1999-2000 et 2000-2001, les besoins prioritaires identifiés étaient:

- Déterminer les principales composantes et les sources des mélanges de polluants atmosphériques qui ont des conséquences sur l'écosystème et qui sont responsables des problèmes de santé humaine comme les maladies cardiorespiratoires;
- Décrire la relation dose-réponse des effets sur l'environnement et la santé humaine afin d'établir les risques liés aux polluants atmosphériques;
- Établir les mécanismes biologiques utilisés par la pollution atmosphérique (particules chimiques et biologiques) pour amener des maladies cardiorespiratoires; et
- Acquérir une meilleure compréhension des éléments chimiques et des sources de particules en suspension dans l'air (PM 2.5 et PM 10) qui rendra plus facile la mise en oeuvre de modèles améliorés dans le but de déterminer les zones névralgiques et de prévoir les épisodes de risque accru pour la santé des populations sensibles comme les enfants.

Pour l'année financière 2001-2002:

Notez qu'aucun appel de proposition n'a été effectué pour l'année financière 2001-2002. Par conséquent, l'IRST n'a pas développé de besoins prioritaires pour cette période. Mentionnons, par contre, que plusieurs projets approuvés durant l'année financière 1999-2000 se poursuivront jusqu'au 31 mars 2002.

Sources chimiques des dérivés d'hydrocarbures aromatiques polycycliques toxiques

Jonathan Abbatt
Université de Toronto

Il est bien connu aujourd'hui qu'une classe de molécules appelées hydrocarbures aromatiques polycycliques se forment lors de la combustion, par exemple dans le moteur à combustion interne d'une automobile ou dans une centrale thermique brûlant du combustible fossile. La fraction de grande taille de ces composés est assez peu volatile pour se condenser sur les particules d'aérosol présentes dans l'atmosphère, comme les particules de suie produites par la combustion. On sait aussi depuis de nombreuses années que bon nombre des hydrocarbures aromatiques polycycliques sont des toxiques qui ont des propriétés à la fois mutagènes et cancérogènes. L'un des aspects du devenir de ces composés dans l'atmosphère est qu'ils peuvent réagir avec les polluants en phase gazeuse, comme l'ozone et le dioxyde d'azote, pour donner des dérivés chimiques qui sont soit moins toxiques soit, dans certains cas, considérablement plus toxiques que leurs précurseurs. Bien que ces composés aient fait l'objet de diverses recherches, le détail du mécanisme par lequel se produisent ces transformations chimiques reste mal connu. En fait, à l'heure actuelle, il est impossible de prédire si les hydrocarbures aromatiques polycycliques produits par une source urbaine de combustion réagiront sous l'effet de ces interactions gaz-particules ou s'ils connaîtront un autre sort, comme la photodégradation ou la déperdition dans le sol par dépôt des particules.

Les grands objectifs de ce projet étaient d'effectuer des expériences en laboratoire sur le devenir chimique des hydrocarbures aromatiques polycycliques grâce à un mécanisme dans lequel une espèce en phase gazeuse interagit avec une forme condensée de la molécule. Il est indispensable de disposer d'informations chimiques fondamentales sur le rythme et les mécanismes de ces transformations pour évaluer utilement le devenir de ces composés et l'apparition de produits chimiques toxiques. Nous nous sommes penchés particulièrement sur deux hydrocarbures aromatiques polycycliques courants, le pyrène et le benzo[a]pyrène, et sur les réactifs en phase gazeuse que sont le dioxyde d'azote et l'ozone. Les expériences ont été menées à la fois sur des formes pures des hydrocarbures aromatiques polycycliques et sur des surfaces artificiellement enduites de suie qui contenaient de fortes proportions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques. Les expériences ont été réalisées principalement en mode statique, les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les surfaces enduites de suie étant exposés aux gaz pendant une période donnée, puis soumis à une analyse chimique par des méthodes chromatographiques pour voir l'ampleur de la réaction. Les résultats obtenus sont les suivants : 1. les réactions évoluaient plus vite quand l'humidité relative était élevée que dans des conditions sèches; 2. les réactions évoluaient beaucoup plus vite sur les surfaces acides que sur les surfaces neutres; 3. le mécanisme de réaction ne consiste pas en une simple collision d'un réactif en phase gazeuse avec la surface; 4. la réaction évolue très rapidement à la surface du substrat de suie, mais les hydrocarbures aromatiques polycycliques contenus à l'intérieur de la pellicule ne sont pas réactifs. Pris dans leur ensemble, ces résultats indiquent que la meilleure façon d'étudier ces transformations est une approche dans laquelle les gaz sont exposés à des particules de suie en suspension. Nous travaillons actuellement à l'Université de Toronto à mettre au point une telle approche en utilisant des méthodes d'analyse d'avant-garde.

Contribution à l'identification des particules aéroportées dans la ville de Québec

Marcel Baril
Professeur associé
Département de physique, génie physique et optique
Faculté de sciences et de génie, Université Laval, Ste-Foy, Québec

Objectifs Le projet proposait d'échantillonner les particules en suspension dans l'air dans la région de la ville de Québec. Les poussières aéroportées ont été prélevées et triées suivant leur taille (par tranches granulométriques entre 0.1 et 10 µm de diamètre) et analysées pour établir leur composition chimique générale. La composition chimique des particules a été étudiée en fonction de la taille des particules.

Échantillonage Nous avons collecté des aérosols (poussières) dans le centre de la ville de Québec pendant plusieurs semaines puis ces échantillons ont été analysés par différentes méthodes. Le projet a examiné non seulement la teneur en métaux des particules et notamment les toxiques reconnus prioritaires, mais aussi la concentration de composés potentiellement nocifs en surface des particules, ce qui en augmente la biodisponibilité et la toxicité. Enfin, dans un volet innovateur majeur du projet, on a tenté de démontrer que la surface des aérosols agit comme un réservoir accumulant et concentrant certains gaz ambiants. Nous nous sommes particulièrement intéressé à l'azote N_2 , à l'oxygène O_2 , au dioxyde de carbone CO_2 et à la vapeur d'eau.

Résultats Nous n'avons pu détecter aucun métal lourd dans et à la surface des aérosols collectés. Nous avons montré que les aérosols adsorbent beaucoup plus de CO_2 que les autres gaz présent dans l'atmosphère comme l'azote ou l'oxygène. Ce qui nous laisse penser que d'autres gaz ou vapeurs, potentiellement nocifs, pourraient se fixer sur ces aérosols lors de leur production ou lors de leur séjour dans l'atmosphère.

Bien que nous n'ayons pas été en mesure de déceler de tels gaz ou vapeurs sur les aérosols observés, nous avons tout de même démontré qu'il était possible de mettre en évidence la présence de gaz adsorbés à la surface des aérosols.

Importance de ces travaux Bien que cette recherche n'ait donné que peu de résultats immédiats, elle ouvre une voie nouvelle. La présence de substances nocives à la surface des aérosols augmente sensiblement la possibilité pour celles-ci de pénétrer dans le corps humain via les alvéoles pulmonaires et de là dans le sang. Ce phénomène est appelé biodisponibilité. Des travaux beaucoup plus conséquents devront être réalisés si on désire effectivement mettre en évidence la présence de gaz et vapeurs potentiellement ou effectivement nocifs.

Impact de la combustion du bois sur l'exposition de la population aux polluants émis

Yvette Bonvalot, Ph.D.[1,2], France Labrèche, Ph.D.[1], Gaétan Carrier, Ing., MD., Ph.D.[2], Jean-Pierre Farant, Ph.D.[3] et Tom Kosatsky, MD., M.P.H.[1]

[1] Santé au travail / Santé environnementale, Direction de la santé publique de Montreal Centre, [2] Chaire en analyse des risques toxicologiques pour l'humain, Université de Montréal, [3] Laboratoire environnemental, Université McGill

Une étude récente démontrait qu'environ un tiers des Québécois utilisent le chauffage au bois. De plus, la tempête de verglas de 1998 aurait conduit nombre de Québécois touchés à s'équiper de tels systèmes de chauffage d'appoint. Or, la combustion du bois résultant de l'utilisation des poêles et foyers peut s'avérer être une source non négligeable de polluants. Certains suggèrent même que l'utilisation des poêles à bois et foyers serait l'une des sources majeures de poussières. L'inventaire national des rejets des polluants de 1995, indique que le chauffage au bois représente la troisième source la plus importante d'émissions de particules fines et qu'il serait responsable de 22% des émissions annuelles en poussières fines. Récemment, un rapport préparé par le Regroupement montréalais pour la qualité de l'air, portant sur les impacts santé et environnement de la pollution atmosphérique, identifiait également le chauffage au bois comme l'une des sources majeures de pollution atmosphérique dans la grande région montréalaise, et qui serait responsable de 53% des émissions en poussières totales (TSP) et de 26% des émissions en composés organiques volatils (COV) tels que le formaldéhyde. Certains de ces polluants auraient des effets néfastes sur la santé, particulièrement chez les individus plus sensibles (asthmatiques, jeunes enfants, personnes âgées, etc.).

Cette étude de faisabilité réalisée entre janvier et mars 2000, avait pour principal objectif de voir s'il était possible de distinguer les utilisateurs des non-utilisateurs de système de combustion au bois en termes d'exposition à divers polluants (poussières fines et totales, aldéhydes, hydrocarbures aromatiques polycycliques ou HAP, monoxyde de carbone). Pour ce faire, deux zones de l'Île de Montréal ont été identifiées : l'une fortement utilisatrice, l'autre faiblement utilisatrice de tels systèmes. Dans chacune des deux zones, 20 maisons ont été échantillonnées durant deux périodes de 24 heures (24 heures la fin de semaine et 24 heures sur semaine), tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. De plus des échantillons urinaires ont également été recueillis pour évaluer l'exposition aux HAP. Des questionnaires et des journaux de bord ont été administrés afin d'obtenir des renseignements sur des facteurs susceptibles d'influencer les mêmes polluants.

La participation a été excellente, aucun participant n'ayant abandonné en cours de projet. De plus, parmi l'ensemble des résultats obtenus, le formaldéhyde ainsi que les naphtols ressortent de façon significative. Pour le formaldéhyde de l'air intérieur, des niveaux plus élevés ont été observés dans le quartier fortement utilisateur. Quant aux naphtols urinaires, leurs concentrations se sont avérées être beaucoup plus élevées chez les utilisateurs de système de combustion que chez les non-utilisateurs, et ce même en tenant compte du tabagisme.

Des limitations ont été également identifiées, ce qui est le propre d'une étude de faisabilité. Notons en particulier qu'une étude subséquente du même type permettant de remédier à de telles difficultés nécessiterait des investissements accrus tant en matériel d'échantillonnage qu'en développement analytique. Cette étude a permis de vérifier qu'il était effectivement possible de distinguer les utilisateurs des non-utilisateurs pour cette source d'exposition particulière. Mais il est important de souligner que les résultats obtenus sont d'autant plus intéressants que les participants n'avaient pas à modifier leurs habitudes de vie. Ce qui donne un portrait plus proche de la réalité, donnée essentielle aux prises de décision en santé publique.

Étude des effets sur la santé et caractérisation avancée des polluants atmosphériques urbains

Brook Jeffrey, Donn Tom, Mabury Scott, Burnett Richard

Bien que les scientifiques apportent la preuve que, même dans les villes relativement peu polluées du Canada, la pollution atmosphérique a des coûts sanitaires, plusieurs questions restent sans réponse : comment les polluants atmosphériques affectent la santé; quels sont les polluants les plus responsables des problèmes de santé; où les gens sont le plus exposés; enfin, d'où vient chacun des polluants. Notre recherche porte ici sur les villes de Toronto et Vancouver, et cherche à répondre à ces questions. Le gros de notre travail a porté sur les particules fines et leur teneur en carbone. Les particules présentes dans l'air de nos villes sont formées de nombreux composés chimiques allant du soufre, de l'azote, de petites quantités de métaux comme le plomb, le nickel, le zinc et le fer, à de grosses molécules associées au carbone. Ces composés carbonés sont extrêmement intéressants : ils sont très présents et constituent l'une des principales composantes des émissions des moteurs, particulièrement la fraction de noir de carbone relevée dans les émissions des moteurs diesel. Certaines données sanitaires permettent aussi de penser que la fraction de carbone peut être l'une des composantes les plus nuisibles des particules fines.

Pendant l'étude, nous avons amélioré les techniques de prélèvement et de mesure des composés carbonés associés aux particules fines, les modes de choix et d'évaluation des stations de mesure en milieu urbain pour déterminer les niveaux de pollution auxquels est exposée la population urbaine, et la méthode de compilation des relevés détaillés des mesures des particules fines et d'autres mesures connexes destinées à étudier dans l'avenir plusieurs questions d'ordre sanitaire à dimension politique. Ce dernier aspect de l'étude devra attendre que nous ayons recueilli suffisamment de mesures quotidiennes pour justifier le lien avec les statistiques sanitaires compilées dans le cadre d'autres études de l'IRST; ce devrait être le cas lorsque nous disposerons de trois ans de données. À l'heure actuelle, les données recueillies couvrent deux ans, et de nombreuses analyses préliminaires ont été réalisées. Ces analyses ont montré que les niveaux sont nettement plus élevés à Toronto qu'à Vancouver, mais que dans les deux villes la fraction de carbone des particules fines est importante toute l'année. Des techniques statistiques avancées sont maintenant appliquées par des étudiants diplômés pour faire le lien entre les polluants atmosphériques et leurs sources possibles. Des mesures détaillées effectuées à Toronto pendant l'été 2000 ont montré que les variations dans la fraction de noir de carbone des particules fines sont plutôt semblables dans une série de stations urbaines, tandis que la fraction de carbone organique est nettement plus variable d'un endroit à l'autre. Nous pouvons donc penser que la seule mesure du carbone organique total à une station ne fournira peut-être pas une information assez fiable sur l'exposition de la population, mais que pour d'autres composés des particules fines, comme le noir de carbone, une seule station suffit.

L'application à Toronto des nouvelles méthodes de collecte et d'analyse axées sur la fraction organique des particules fines nous a aussi ouvert de nouvelles perspectives. On sait que la fraction organique est difficile à mesurer parce qu'elle est influencée par le fait que des composantes de la phase non particulaire collent au filtre et que des composantes de la phase particulaire s'évaporent sur le filtre. Ces dernières sont appelées composés semi-volatils. Pendant l'été 2001, une nouvelle méthode mise à l'essai à Toronto et à Vancouver a montré que la concentration des composés semi-volatils peut être aussi élevée que celle des composés qui sont seulement en phase particulaire (non volatils). La fraction semi-volatile semble être plus grande la nuit, ce qui

permet de penser que, pendant le jour, ces composés peuvent passer de la phase gazeuse à la phase particulaire. D'autres nouvelles applications axées sur l'identification chimique de la fraction organique ont été testées à Toronto. Ces essais ont montré qu'il est possible, avec une analyse organique, d'améliorer les estimations de l'impact qu'ont les véhicules à moteur sur les concentrations de particules fines et d'identifier d'autres sources possibles, comme la cuisson des aliments et l'usure des pneus. Des méthodes semblables sont appliquées aux mesures prises en août 2000 à Vancouver pendant une grande étude de terrain gouvernement-université sur la qualité de l'air. Les résultats de cette étude, qui sont encore inédits, devraient améliorer nettement notre compréhension du comportement des particules fines dans la vallée du bas Fraser et ailleurs, ce qui nous permettra de mieux prédire et contrôler leurs concentrations dans l'avenir.

Effets négatifs sur le cœur de la pollution atmosphérique

Robert Dales

Objet : Examiner l'influence sur le rythme cardiaque de la pollution atmosphérique sous forme de fines particules.

Déroulement de l'étude : Nous avons suivi environ 35 sujets souffrant d'angine de poitrine ou ayant connu une crise cardiaque. Une fois par semaine, pendant dix semaines, nous avons surveillé le rythme cardiaque pendant une journée à l'aide d'un moniteur Holter. Une fois par semaine, pendant dix semaines, nous avons mesuré les niveaux de pollution atmosphérique.

Résultats : L'étude n'est pas terminée, mais les données préliminaires démontrent que la pollution atmosphérique influe sur le rythme cardiaque.

Importance de l'étude : Les hospitalisations pour cause de maladie cardiaque augmentent les jours où la pollution atmosphérique est forte. L'observation des effets de la pollution atmosphérique sur les individus vient confirmer que la pollution atmosphérique est mauvaise pour le cœur, et peut expliquer son mode d'action.

Substances toxiques dans l'air des villes : caractérisation et effets sur la santé

Miriam Diamond

La mauvaise qualité de l'air a été associée à la mauvaise santé des habitants des villes et à la mauvaise qualité de l'environnement en général. Pour tenter de s'attaquer à ce problème, Environnement Canada et d'autres organismes gouvernementaux ont mis en œuvre des stratégies de contrôle des émissions atmosphériques, et surveillent la qualité de l'air pour évaluer l'efficacité de ces stratégies. Nos travaux examinent plusieurs aspects du dossier de la qualité de l'air urbain, et particulièrement les polluants organiques persistants (POP) qui jouent un rôle dans la mauvaise qualité de l'air des villes.

Nous avons en premier mené des travaux axés sur le soutien aux opérations de contrôle de la pollution atmosphérique. Comme les toximètres classiques nécessitent une infrastructure relativement lourde, il existe peu de stations de contrôle de la qualité de l'air dans les centres urbains. Nous avons examiné la possibilité d'employer des échantillonneurs passifs qui ne nécessitent pas une lourde infrastructure pour fonctionner et qui sont relativement peu coûteux à l'usage. Nos résultats montrent que plusieurs types d'échantillonneurs passifs donnent des mesures fiables des concentrations de POP dans la phase gazeuse. Ces premiers résultats sont prometteurs, mais nous devons poursuivre nos travaux pour évaluer la possibilité d'employer des surfaces imperméables, par exemple les fenêtres, comme échantillonneurs passifs des phases gazeuse et particulaire des POP.

Deuxièmement, nous avons examiné les différences dans la qualité de l'air dans la région du Grand Toronto. Nous avons plus précisément considéré les différences dans les concentrations de POP entre le centre-ville de Toronto et Egbert, une communauté rurale située à 70 km au nord de Toronto. Nous avons relevé des concentrations au moins dix fois plus élevées à Toronto qu'à Egbert pour les biphényles polychlorés (BPC), qui ont été utilisés dans l'ensemble de la ville, et pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) émis par les véhicules et les autres sources qui brûlent des combustibles fossiles. Par contre, les concentrations de certains pesticides étaient plus élevées à Egbert qu'au centre-ville de Toronto. Nous examinons aussi les différences dans les concentrations de POP en fonction de la hauteur, à l'aide d'échantillonneurs passifs installés à plusieurs niveaux sur la tour du CN. Les premiers résultats montrent que les concentrations les plus fortes se retrouvent à une hauteur de 900 pi, niveau auquel se produit un brassage de l'air provenant de plusieurs kilomètres autour de la métropole.

Troisièmement, nous avons recherché divers produits chimiques présents dans l'air urbain qui se déposent sur les surfaces; les fenêtres constituent une bonne surface d'échantillonnage (elles ont aussi été utilisées dans l'étude sur l'échantillonnage passif). Nous avons trouvé que les cires végétales (provenant p. ex. des feuilles des plantes) et les graisses d'origine végétale et animale contribuent de façon importante à la formation de la crasse ou pellicule organique qui s'accumule sur ces surfaces. Si ces cires et ces graisses ne sont pas inquiétantes en termes d'effets sur la santé, nous sommes préoccupés par l'abondance de ces composés dans l'air du centre-ville à cause de leur aptitude à emprisonner les produits chimiques toxiques comme les BPC et les HAP. Nous continuons à nous interroger sur la découverte de plus fortes concentrations de ces composés d'origine végétale et animale dans le centre-ville de Toronto que dans la zone rurale d'Egbert, et particulièrement sur leur abondance en hiver.

Quatrièmement, nous avons étudié le potentiel d'effets négatifs sur la santé des POP présents dans l'air (phases gazeuse et particulaire). À cette fin nous avons réalisé un bioessai de dépistage utilisant une lignée cellulaire (par opposition aux tests sur des animaux entiers). Deux essais ont été menés. Le premier porte sur le récepteur aryle-hydrocarbone sur lequel les composés chimiques de type dioxine se fixent solidement, ce qui peut causer un cancer et toute une gamme d'effets subtils touchant le système endocrinien. Le deuxième porte sur le récepteur des œstrogènes, qui est directement lié au système endocrinien. Nous avons découvert que le mélange complexe de POP présent dans les particules de l'air urbain a la plus forte activité biologique au récepteur aryle-hydrocarbone et une activité moindre au récepteur des œstrogènes. L'activité est moindre pour le mélange complexe obtenu à partir de la phase gazeuse, particulièrement dans les échantillons d'air obtenus en milieu rural.

Caractérisation en temps réel de la taille, de la composition chimique et des origines des particules en milieu urbain

Greg J. Evans
Université de Toronto

La matière particulaire, comme celle que produisent les automobiles et l'industrie, semble être l'une des grandes responsables des problèmes de santé associés à la pollution atmosphérique urbaine. Un nouvel instrument de pointe, le spectromètre de masse à ablation laser et à ionisation, a été mis au point pour permettre de mieux comprendre la nature de ces particules. Cet instrument permet la mesure simultanée de la granulométrie et de la composition chimique de particules individuelles d'aérosol et donne instantanément les résultats. Nous employons ici cet instrument pour examiner comment et pourquoi la concentration de particules dans l'air de Toronto peut changer de façon spectaculaire en quelques heures. Des programmes informatiques sont aussi mis au point pour différencier automatiquement différents types de particules et pour utiliser cette information de façon à reconnaître l'origine des particules. Grâce à ces programmes, il devrait être possible d'identifier rapidement les sources responsables des concentrations de particules dans l'air.

L'instrument a servi à comparer les particules présentes à différents moments de la journée, pendant des épisodes de smog urbain, pendant les jours de semaine et en fin de semaine, et au cours de différentes saisons. Il a également été employé en continu, 24 heures sur 24, pendant certaines campagnes intensives : une période de 10 jours en hiver et une autre de 30 jours en été. Nous avons examiné la composition et la taille des particules observées pendant les augmentations à court terme de la concentration. Il est apparu que la composition chimique des particules variait fortement d'un épisode à l'autre, même dans des cas d'augmentations à court terme séparées par des intervalles de moins de 24 h. L'instrument a permis de découvrir certaines des raisons sous-jacentes qui expliquent le niveau élevé des concentrations.

Les études épidémiologiques ont établi un lien entre les effets sur la santé et des augmentations même brèves de la concentration de particules dans l'air urbain. Toutefois, le mécanisme physiologique responsable de ces effets est mal connu. C'est vraisemblablement la réaction du corps aux composantes clés des particules qui causent les effets sur la santé. Il est donc nécessaire de bien connaître la composition des particules, et son évolution pendant les augmentations à court terme de la concentration, pour comprendre la relation entre les concentrations de particules et leur impact sanitaire sur la population urbaine du Canada.

Étude par cohortes sur la qualité de l'air et l'utilisation des services hospitaliers

Murray Finkelstein, Dave Verma, Malcolm Sears, Kenneth Chapman
Université McMaster et Université de Toronto

Une bonne partie des recherches concernant les effets sur la santé de la pollution atmosphérique porte sur le nombre de consultations à l'urgence des hôpitaux ou d'hospitalisations. Les sujets de ces études sont traités de façon anonyme et interchangeable. Il est toutefois raisonnable de penser que les membres d'une population ne sont pas tous également vulnérables aux effets néfastes de la pollution, ni également prêts à faire appel aux services de santé. Il est donc important de prendre en compte les différences entre les individus quand on évalue les effets sur la santé des polluants atmosphériques.

Les objectifs de notre étude étaient d'examiner les relations entre les polluants atmosphériques et l'apparition ou l'aggravation des états pathologiques, phénomène mesuré au nombre d'hospitalisations ou de consultations à l'urgence des hôpitaux, tout en tenant compte des facteurs individuels dans les données recueillies par analyse des dossiers. Nous avons aussi prévu d'examiner la sensibilité individuelle dans le cas d'une aggravation des maladies cardiaques et respiratoires. La méthode retenue comportait l'établissement d'une liste de sujets d'étude à partir de groupes de patients de médecins de famille et de spécialistes des troubles pulmonaires des villes de Toronto et de Hamilton (Ontario). Nous avons vérifié les consultations des sujets à l'urgence des hôpitaux et les hospitalisations en comparant nos listes à celles du ministère de la Santé de l'Ontario. Les morts ont été déterminées par vérification dans la base de données sur la mortalité de l'Ontario.

Nous avons découvert que les taux de mortalité chez les sujets qui consultaient à la clinique des maladies respiratoires de Hamilton dépendait du quartier où ils vivaient. Les personnes qui habitaient les quartiers pauvres présentaient un taux de mortalité plus élevé que celles des quartiers riches. Cette relation a été observée malgré le fait que l'assurance-maladie universelle assure à tous les citoyens un accès égal aux soins de santé, quel que soit leur revenu. Le niveau moyen de pollution atmosphérique était plus élevé dans les quartiers pauvres que dans les quartiers riches. Les sujets qui vivaient dans des quartiers plus pollués présentaient un taux de mortalité plus élevé que ceux des quartiers moins pollués. Les facteurs sociaux et environnementaux jouaient donc un rôle important dans la mortalité de cette population.

Nous avons recensé plus de 100 000 hospitalisations parmi nos sujets d'étude. L'analyse de l'impact des polluants atmosphériques sur la nécessité de l'hospitalisation est en cours.

Pollution atmosphérique et maladies cardio-vasculaires

James C Hogg, Stephan F van Eeden

Chaque année, aux États-Unis, plus de 60 000 morts sont attribuables à la pollution atmosphérique particulaire (PM10), et la majorité de ces morts touchent des personnes ayant des maladies cardiaques et pulmonaires. Quand la qualité de l'air se détériore, on note une augmentation des hospitalisations pour cause de défaillance cardiaque, de crise cardiaque, d'arythmie et d'accident vasculaire cérébral. Les mécanismes biologiques responsables de ces associations sont mal connus et font l'objet de recherches intensives. L'objet de notre étude était de déterminer l'effet de l'exposition aux polluants atmosphériques sur les maladies cardio-vasculaires, plus précisément l'athérosclérose (épaississement des vaisseaux sanguins responsable des crises cardiaques et des accidents vasculaires cérébraux). Notre hypothèse est que l'exposition chronique à la pollution atmosphérique ambiante accélère le développement de l'athérosclérose, qui conduit à la crise cardiaque et à l'accident vasculaire cérébral.

Pour vérifier notre hypothèse, nous avons utilisé des lapins atteints d'un défaut génétique qui cause l'apparition naturelle de l'athérosclérose avec l'âge. Ces animaux ont été exposés à des polluants atmosphériques particulaires prélevés à Ottawa en 1993, entièrement caractérisés, qui nous ont été fournis par Santé Canada. L'exposition des lapins correspondait à la dose de particules reçue pendant trois mois par une personne travaillant dans une grande ville nord-américaine.

Les résultats montrent que l'exposition aux particules de l'air ambiant cause une inflammation des poumons qui suscite la production de médiateurs qui se répandent dans le sang, stimulent les tissus de la paroi des vaisseaux et accélèrent le développement de l'athérosclérose dans les vaisseaux qui irriguent le cœur et le cerveau. Cette progression de l'athérosclérose est associée à une stimulation de la moelle osseuse productrice de leucocytes qui participent au développement des lésions athérosclérotiques et les rendent susceptibles de rupture et d'occlusion du vaisseau sanguin. L'importance de l'excès d'athérosclérose dans les vaisseaux sanguins du groupe exposé était corrélée au dépôt de particules dans le poumon.

Nos résultats permettent de penser que l'exposition aux particules présentes dans la pollution atmosphérique ambiante cause une progression de l'athérosclérose, processus pathologique responsable de la plupart des crises cardiaques et des accidents vasculaires cérébraux. Nous soutenons que ces changements dans les vaisseaux sanguins, induits par l'exposition à la pollution atmosphérique, contribuent à la hausse du nombre d'hospitalisations pour cause de défaillance cardiaque, de crise cardiaque, d'arythmie et d'accident vasculaire cérébral.

Recherche sur la santé et la justice environnementale menée dans le cadre de l'IRST

Jerrett, Burnett, Kanaroglou et Brook

Les recherches que nous menons sous l'égide de l'IRST s'inscrivent dans un cadre de justice environnementale. Elles visent à examiner l'exposition aux niveaux ambiants de pollution atmosphérique à Hamilton (Ontario) pour déterminer si les personnes qui se situent au bas de l'échelle sociale sont davantage exposées à la pollution. Nous nous sommes appuyés sur les données fournies par le réseau municipal de contrôle de la pollution et par le recensement de la population canadienne pour la période 1985-1996. Nous avons fait la synthèse de ces données pour étudier la relation entre les types de quartiers de la ville et leur niveau d'exposition à la pollution atmosphérique ou, plus largement, pour aborder la question de la justice environnementale. Nos travaux ont déjà fait ressortir que la moyenne sur plusieurs années des niveaux d'exposition révèle une inégalité dans la distribution. Les quartiers de Hamilton où la valeur des habitations est basse, où le revenu familial est faible et où le taux de chômage est élevé sont exposés à de plus hauts niveaux de pollution atmosphérique que les quartiers riches. Nous étendons actuellement cette recherche au contexte de l'amélioration de la qualité de l'air dans la région urbaine pour examiner si une telle amélioration réduit les inégalités avec le temps et est équitablement répartie entre tous les habitants, c'est-à-dire si tous les groupes en bénéficient également malgré le maintien des disparités. Dans le pire des scénarios, l'amélioration de la qualité de l'air ne profite qu'à ceux qui bénéficient déjà d'une meilleure qualité de l'air que la majorité, ce qui accentue encore les inégalités.

Série chronologique par zones liant la pollution atmosphérique urbaine à la mortalité : données recueillies à Hamilton, Canada

Contexte : De nombreuses études par séries chronologiques ont fait ressortir des associations notables entre la pollution atmosphérique ambiante et la mortalité. Toutes ces études se fondaient sur des estimations par surveillance centrale ou par moyenne régionale qui supposent l'homogénéité des concentrations ambiantes sur toute la zone urbaine. Cette hypothèse d'une homogénéité spatiale peut être incorrecte pour certains polluants, ce qui donne une fausse cote d'exposition. Un des aspects qui sont plus importants et moins explorés que la variation spatiale dans l'exposition à la pollution est la localisation des individus et groupes vulnérables qui peuvent aussi présenter des profils spatiaux intra-urbains. L'évaluation des associations intra-urbaines basées sur des estimations locales pourrait réduire le biais qui serait dû à une fausse cote d'exposition et à l'absence de prise en compte des modificateurs de l'effet présentant des profils spatiaux locaux.

Objectif et hypothèses : L'objectif de notre recherche est d'évaluer l'association à court terme entre la pollution atmosphérique et la mortalité dans différents secteurs d'une ville industrielle. Les grandes hypothèses sont les suivantes : (1) les profils de risque des diverses zones vont différer des estimations concernant l'ensemble de l'agglomération ou la région, et (2) les quartiers défavorisés subiront davantage les effets de la pollution que les quartiers favorisés.

Méthodes : Hamilton a été divisée en cinq zones à partir de polygones de Thiessen qui prenaient pour point nodal les toximètres. Dans chaque zone, on a combiné les dénombrements des mortalités quotidiennes d'origine non traumatique et des estimations de la pollution. Des modèles additifs généralisés ont servi à tester les associations entre l'anhydride sulfureux et la pollution atmosphérique particulaire mesurée par le coefficient de brume, avec contrôle des effets de confusion

de la météo, des tendances temporelles et de l'autocorrélation sérielle dans les données sur la mortalité.

Résultats : Les résultats indiquent qu'il existe des variations spatiales significatives dans l'association entre l'exposition à la pollution et la mortalité selon les quartiers de Hamilton. Deux zones au statut social relativement élevé ne présentent aucun effet significatif dû aux particules, tandis que les autres présentent des risques relatifs (RR) plus élevés que les estimations tirées d'un modèle couvrant l'ensemble de la ville. La zone qui connaît les pires effets de la pollution a un RR significatif de 1,17 pour un décalage de plusieurs jours évalué selon la moyenne régionale de pollution. Il s'agit là d'un niveau trois fois supérieur au RR de 1,06 de l'estimation couvrant l'ensemble de la ville pour le décalage de plusieurs jours le plus significatif. Pour conclure, nos résultats confirment que les estimations zonales vont varier entre elles et par rapport à celles qui concernent l'ensemble de la ville. Les résultats permettent aussi de penser que, dans les quartiers défavorisés, la pollution atmosphérique peut avoir un effet plus marqué sur la mortalité.

Mesure et modélisation de la pollution atmosphérique engendrée par les véhicules automobiles circulant en région urbaine

Deniz Karman et Lisa Graham

L'évaluation précise des effets des émissions toxiques dues aux moteurs de véhicules automobiles sur les populations urbaines est une tâche relativement complexe, qui demande une caractérisation quantitative de la circulation, des émissions ainsi produites, de l'exposition des individus, et des risques sanitaires associés à cette exposition. Les concentrations de composés toxiques peuvent varier très fortement avec le temps et le lieu, particulièrement dans certains micro-environnements spécifiques : sur les trottoirs des rues achalandées, à l'intérieur des véhicules, dans les garages, à proximité des principales sources ponctuelles, etc.

La Division de la recherche et de la mesure des émissions (DRME) d'Environnement Canada et le département de génie civil et environnemental de l'Université Carleton ont mené ensemble des études de terrain visant à caractériser de façon détaillée et à quantifier les polluants atmosphériques liés aux émissions des véhicules à moteur dans des micro-environnements urbains. La présente étude, réalisée pendant l'hiver et l'été 2000, a complété et élargi une étude menée en 1994.

Au cours des périodes de fort trafic automobile et piétonnier du matin, de midi et de l'après-midi, des échantillons d'air ambiant prélevés au niveau du nez ont été recueillis pendant deux heures pour le dosage des polluants en phase gazeuse et sous forme de particules fines le long de la rue Slater, à Ottawa. Des échantillons de la phase gazeuse ont été recueillis à l'intérieur des véhicules (autobus et voitures privées) pendant des déplacements typiques des banlieusards de la région pendant les deux heures des périodes de pointe du matin et de l'après-midi. Au total, 26 jours d'échantillonnage dans la rue et 30 jours d'échantillonnage à l'intérieur des véhicules ont été réalisés. Dans des études menées en parallèle dans les laboratoires de la DRME, on a déterminé les caractéristiques des émissions de voitures et d'autobus types.

Les concentrations de polluants atmosphériques mesurées pendant l'étude ont été rassemblées dans une base de données (Ottawa Micro-environment Database, OMDB) qui est mise à la disposition des autres chercheurs sur Internet (www.carleton.ca/~dkarman/OMDB.htm).

La variation quotidienne des concentrations de polluants observées dans les micro-environnements est beaucoup plus élevée que la variation spatiale observée entre divers micro-environnements comme le bord de la chaussée sur une rue achalandée, le toit d'un garage, l'intérieur de la voiture d'un banlieusard, et l'intérieur d'un autobus à l'heure de pointe. C'est généralement à l'intérieur des véhicules que les concentrations sont les plus élevées parmi ces micro-environnements. Les concentrations observées à l'intérieur des véhicules pendant cette étude à Ottawa sont du même ordre de grandeur que celles d'études réalisées dans d'autres villes, mais se situent dans la moitié inférieure des valeurs signalées.

La base de données sur les concentrations d'un grand nombre de polluants atmosphériques qui a été rassemblée à partir de ces micro-environnements constitue une ressource importante pour les spécialistes de la santé chargés d'évaluer l'impact sur la santé humaine de la pollution atmosphérique provenant de différentes sources dans notre vie quotidienne.

Impact sur la santé de la population d'une exposition de courte durée à la pollution atmosphérique urbaine

Krewski D, Villeneuve PJ, Burnett RT, Goldberg MS, Chen Y.

Les études mettent régulièrement en évidence un lien entre les niveaux courants de pollution atmosphérique et une gamme d'effets sur la santé, y compris la mortalité et l'hospitalisation. Même si l'ampleur des effets est relativement faible, l'impact global sur la santé est grand car tous les individus sont exposés dans une certaine mesure à la pollution atmosphérique. Plusieurs chercheurs sont d'avis que certains segments de la population sont plus vulnérables aux effets de la pollution atmosphérique. Malgré la tenue d'un certain nombre d'études sur le sujet, on n'a encore aucune certitude quant aux sous-groupes de la population qui peuvent être plus vulnérables aux effets néfastes de la pollution atmosphérique.

La présente étude vise à mieux caractériser les risques sanitaires associés à diverses composantes de la pollution atmosphérique parmi des populations potentiellement vulnérables. L'accent est mis sur l'estimation des risques liés à l'exposition aux composantes gazeuses et particulaires de la pollution atmosphérique. En outre, nous nous sommes efforcés de raffiner les modèles statistiques qui ont servi à caractériser le risque. Nous disposerons ainsi d'indications précieuses sur les différences relevées par rapport aux études déjà publiées, dans le but ultime d'aider à élaborer des normes pancanadiennes.

Nous avons commencé à évaluer si certaines populations fragiles sont plus susceptibles de ressentir des effets négatifs sur la santé par suite de l'exposition à la pollution atmosphérique. Cette question est étudiée dans un groupe de résidents de Vancouver, âgés de 65 ans et plus, qui sont suivis depuis plus d'une décennie. Nous disposons d'information sur le mode de recours au système de soins de santé chez chacun de ces résidents. Cela nous permet de déterminer si les personnes présentant au départ un état pathologique (p. ex. asthme, cancer) sont plus susceptibles de connaître des problèmes de santé supplémentaires (p. ex. mort ou hospitalisation) les jours où la pollution atmosphérique est élevée. Nous avons terminé des analyses démontrant que l'association entre l'exposition à la pollution atmosphérique sous forme de fines particules et la mortalité n'est pas liée au statut socio-économique. Ces analyses sont élargies aux données sur les hospitalisations.

Nous avons récemment fait rapport sur les différences dans les estimations des risques posés par la pollution atmosphérique obtenues avec des séries chronologiques et des études de cas croisées. Les résultats des études par séries chronologiques peuvent être sensibles à plusieurs hypothèses du modèle, et les estimations des risques peuvent contenir des sources de biais en cas d'effets cumulatifs de l'exposition. L'étude de cas croisée est une autre méthode qui peut servir à estimer le risque; elle présente l'intérêt de contrôler les variables confusionnelles potentiellement créées par les caractéristiques fixes des individus, ainsi que les tendances temporelles des données d'exposition. Nous avons appliqué les méthodes d'analyse par séries chronologiques et par études de cas croisées pour évaluer les associations entre la matière particulaire fractionnée par taille et l'hospitalisation, à Toronto, chez des enfants de 6-12 ans. Nous avons observé des associations positives, et, en majorité, les risques relatifs estimés à partir de l'analyse unidirectionnelle par études de cas croisées étaient plus prononcés que ceux établis par les analyses bidirectionnelle et par séries chronologiques. À l'aide des mêmes données, nous avons pu noter une association entre les fortes

expositions aux polluants gazeux et une hausse des hospitalisations pour cause d'asthme. Plus précisément, nous avons trouvé des associations positives avec le monoxyde de carbone, l'anhydride sulfureux et le dioxyde d'azote, mais aucune association avec l'ozone.

Une étude réalisée à Montréal représentait la première analyse en profondeur des effets sur la santé de la pollution atmosphérique parmi des sous-groupes potentiellement vulnérables de la population. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour corroborer les résultats obtenus. À cet égard, les analyses prévues des associations entre les niveaux de pollution atmosphérique et les effets sur la santé, particulièrement dans la cohorte de résidents de Vancouver, vont se révéler pleines d'intérêt.

Méthodes de mesure de la composante biologique dans la matière particulaire

David J. Miller, Jeffrey R. Brook

Des études menées par Santé Canada et d'autres organismes montrent que les particules fongiques présentes dans l'air extérieur sont associées à un pourcentage non négligeable d'hospitalisations d'urgence pour cause d'asthme dans les villes où la pollution est relativement peu élevée. Un des ces rapports indique que 10 % des hospitalisations d'urgence à l'Hôpital pour enfants de l'est de l'Ontario étaient associées à la présence de spores de champignons dans l'air ambiant. Notre étude s'élargit à d'autres villes du Canada. Dans ses recommandations sur les grandes priorités de recherche, en ce qui concerne la matière particulaire, le National Academy Report de 1998 souligne l'intérêt d'examiner le rôle potentiel de la matière particulaire d'origine biologique (toxines bactériennes, spores et pollens) dans les effets sur la santé des particules fines. La commission est d'avis que les études épidémiologiques devraient attendre que soient améliorées les méthodes de mesure de l'exposition aux composantes biologiques.

Les méthodes actuelles de mesure des particules fongiques et du pollen dans l'air extérieur ne sont pas nécessairement fiables; elles sont en outre coûteuses et demandent beaucoup de temps et de main-d'œuvre. Notre projet visait à entreprendre une recherche à haut risque pour développer une méthode qui pourrait s'appliquer aux techniques actuelles d'échantillonnage. Nous voulions déterminer s'il était possible d'utiliser la méthode du profil des signatures lipidiques pour identifier les taxons de champignons à partir des extraits lipidiques de ces échantillons. L'analyse chimique des lipides spécifiques à une espèce bactérienne a servi à identifier des bactéries, par exemple dans l'air ambiant d'un avion, mais il n'existait aucune méthode de ce genre pour les champignons ou les pollens. Nous voulions mettre au point une méthode d'analyse qui serait particulièrement sensible.

Le projet a parfaitement atteint ses objectifs. Si une quantité suffisante de lipides est présente dans un échantillon d'air extérieur, nous pouvons estimer de façon fiable, à partir des données recueillies, la biomasse de champignons et de pollens. L'analyse directe par chromatographie liquide à haute performance / spectrométrie de masse par électrospray peut fournir des données sur les lipides présents. On peut comparer ces données aux données de référence produites dans la présente étude sur les organismes qui ont été associés à des effets sur la santé par Santé Canada et d'autres institutions de recherche. Si l'on suppose que les lipides sont présents en quantités suffisantes dans l'échantillon, on peut évaluer de façon fiable les proportions de ces organismes dans l'échantillon. Nous avons ainsi pu repérer des profils correspondant à des lipides fongiques dans des échantillons typiques de matière particulaire prélevés à Toronto.

Quand cette étude sera publiée, elle comptera parmi les rares publications qui traitent des méthodes de spectrométrie de masse par électrospray pour les lipides. Il s'agit du premier rapport sur le potentiel d'utilisation du profil des signatures lipidiques pour évaluer la présence de populations fongiques de toutes sortes dans des échantillons environnementaux. Nous avons ainsi obtenu des données modernes sur les lipides dans les taxons fongiques étudiés, qui ont fait ressortir que même des espèces étroitement apparentées présentent des profils lipidiques différents. Cette technique peut être utile pour améliorer les études épidémiologiques sur l'effet de la pollution atmosphérique particulaire d'origine anthropique en y ajoutant de nouvelles covariables.

Étude sur les CAP présents dans l'environnement atmosphérique

Louis Ramsley, Robert D. Guy et Peter D. Wentzell

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques forment une classe de composés contenant seulement des atomes de carbone et d'hydrogène; on les retrouve dans la nature, par exemple dans les échantillons de pétrole, mais ils sont aussi le produit de l'activité humaine, par exemple dans les procédés de raffinage du pétrole et dans la combustion. Ces composés se retrouvent dans l'atmosphère sous deux formes, à l'état de molécules libres (composantes de la phase gazeuse) et liés à des poussières ou à des particules des émissions de moteurs (composantes particulaires). Les hydrocarbures peuvent de plus réagir pour former des dérivés avec les atomes d'oxygène, d'azote ou de soufre. Les hydrocarbures et leurs dérivés forment une grande classe de produits appelés composés aromatiques polycycliques (CAP). On sait que certains de ces hydrocarbures causent le cancer ou des mutations génétiques chez les humains et les animaux, et on pense que certains des dérivés pourraient agir de la même façon, et peut-être de manière plus grave que les hydrocarbures. Il est donc indispensable de connaître non seulement les sources de ces composés, mais aussi les types et les concentrations des composés produits par les diverses sources.

Notre recherche a été axée sur deux aspects : (1) améliorer nos méthodes de prélèvement et d'analyse des échantillons, et (2) obtenir une série d'échantillons qui représentent de façon exacte la qualité de l'air à divers endroits d'Halifax et de Sydney (Nouvelle-Écosse). Notre système d'échantillonnage comporte deux éléments : l'air aspiré passe par un filtre fin qui retient la composante particulaire puis par un tampon de mousse qui piège la composante gazeuse. Un cyclone installé dans le circuit d'échantillonnage n'achemine au filtre que les particules dont le diamètre est inférieur à 0,0025 mm. Ce sont les particules de cette taille, qui peuvent pénétrer et se loger dans les poumons, qui représentent le plus grand danger pour la santé. Nous avons mis au point une méthode simple, sensible et fiable (à l'aide d'un instrument appelé chromatographe en phase liquide haute performance à détection par fluorescence) pour détecter et identifier les hydrocarbures aromatiques sur les filtres et les tampons de mousse. Nous avons étendu cette méthode à la détection des hydrocarbures dérivés appelés composés nitro. Ces composés sont considérés comme encore plus dangereux que les hydrocarbures parents.

Nos stations d'échantillonnage sont situées dans des zones résidentielles à la fois urbaines et suburbaines, dans des secteurs à forte circulation automobile, et dans une zone très proche des étangs de goudron de Sydney (secteur fortement pollué). Les résultats préliminaires indiquent que les petites molécules sont piégées par le tampon de mousse tandis que les plus gros CAP se retrouvent dans la phase particulaire. Ces résultats sont conformes aux attentes car plus la molécule est petite, plus grande est sa volatilité, et plus elle est susceptible de se retrouver dans la phase gazeuse. La pollution est au plus haut en hiver, au maximum de l'utilisation du mazout pour le chauffage des immeubles. On note peu de différence dans les concentrations de CAP entre les stations urbaines et suburbaines d'Halifax. Étonnamment, les concentrations de CAP dans les secteurs à forte circulation n'étaient pas beaucoup plus élevées que celles des zones résidentielles, ce qui indique un brassage atmosphérique assez rapide. On a par contre noté une différence entre les secteurs à forte circulation et les zones résidentielles dans le type de composés observé – les zones résidentielles présentent de plus fortes concentrations des grosses molécules de CAP (ce qui peut être dû au chauffage) tandis que les petites molécules prédominent dans les secteurs à

forte circulation. Cette découverte peut être utile pour l'identification des sources de pollution. Enfin, les résultats obtenus à Sydney étaient comparables à ceux d'Halifax, ce qui permet de penser que les étangs de goudron ne constituent pas une source importante de polluants de type CAP.

Ce genre d'information est d'une valeur inestimable pour (1) identifier les types de polluants dans le milieu atmosphérique, (2) indiquer les concentrations de polluants à divers endroits, (3) apporter des preuves quant à l'origine des polluants, et (4) démontrer l'effet des conditions atmosphériques et d'autres facteurs sur les niveaux de pollution.

Effets cardiorespiratoires chez les humains de l'exposition en milieu contrôlé à des matières particulaires et à l'ozone

Silverman F., Brook J., Liu L., Poon R., Parfett C., Vincent R., Kumarathasan P., Urch B., Tarlo S., Speck M., Corey P.

Notre étude examine les effets des particules fines sur la fonction pulmonaire et cherche à identifier les marqueurs biologiques de cette exposition au niveau cellulaire et moléculaire. L'objectif global de l'étude est de déterminer comment les particules fines produisent des effets négatifs sur les appareils cardio-vasculaire et respiratoire. De tels effets ont été observés dans des études sur les animaux et dans des études sur les humains qui associaient les niveaux de pollution atmosphérique urbaine avec le nombre d'hospitalisations et les taux de morbidité et de mortalité. Nous examinerons plus précisément : (1) des sujets atteints d'asthme bénin en tant que population potentiellement vulnérable; (2) la relation dose-réponse des particules; et (3) les effets potentiels de l'ozone comme copolluant. L'étude est menée par une équipe pluridisciplinaire de l'Université de Toronto et de l'hôpital St. Michael's en collaboration avec des scientifiques de Santé Canada et d'Environnement Canada.

À l'aide d'un concentrateur de particules ambiantes et dans un local à milieu contrôlé, des volontaires (18-40 ans, non-fumeurs) inhalent de l'air propre (sans particules) et deux concentrations différentes de particules fines ambiantes concentrées (PFAC), pendant 2 h, en trois occasions différentes. De plus, pour la moitié des volontaires, on ajoute de l'ozone pendant qu'ils respirent de l'air propre et les deux PFAC. La quantité inhalée correspond aux conditions présentes pendant une journée de smog à Los Angeles. On effectue des explorations fonctionnelles respiratoires; on note les symptômes, on fait des prises de sang et on prélève des échantillons des liquides des voies aériennes inférieures et des voies nasales avant et après l'inhalation de l'air propre ou des PFAC. Pour mesurer l'inflammation, on analyse le sang et les liquides des voies aériennes et nasales pour détecter les changements dans la cellularité et les médiateurs moléculaires.

Les premières analyses ne montrent aucun changement dans la fonction respiratoire (y compris les mesures du volume et du débit pulmonaire), ni dans la cellularité des voies aériennes et nasales avec l'inhalation des PFAC et/ou de l'ozone. Nous avons trouvé certaines tendances intéressantes qui pourraient révéler des liens plausibles avec une hausse du risque de maladie cardio-vasculaire après une exposition à des polluants, notamment une augmentation des taux de protéines qui causent une constriction des vaisseaux sanguins. De plus, nous avons observé une hausse des protéines libérées par les globules blancs, qui interviennent dans l'induction de la production des protéines inflammatoires. Ces protéines inflammatoires jouent un rôle dans la réaction immunitaire et la coagulation sanguine, et accroissent la viscosité du sang.

Notre essai de quantification des effets des PFAC et de l'ozone sur la santé chez des personnes relativement saines s'est révélé difficile parce que le faible niveau de réponse observé peut être, dans certains cas, masqué par la variation biologique naturelle de fond. Nous avons fait cependant quelques premières observations intéressantes, dont la plupart se situent au niveau moléculaire. Ce résultat peut refléter la subtilité des effets produits chez des personnes en bonne santé, effets qui pourraient être plus importants dans les populations les plus vulnérables, notamment chez les personnes âgées et les personnes souffrant de problèmes cardiaques ou respiratoires.

Il est extrêmement important de continuer à examiner ces petits changements; si nous comprenons mieux comment ils se produisent, nous pourrons étayer l'hypothèse selon laquelle la pollution atmosphérique peut être liée à la morbidité clinique et à la mortalité – composante importante de l'élaboration et de l'évaluation des politiques de lutte contre la pollution atmosphérique.

Étude d'exposition contrôlée visant à déterminer l'effet des polluants de l'air urbain sur le système cardio-vasculaire humain

Silverman Frances, Brook Jeffrey, Vincent Renaud, Kumarathasan Premkumari, Urch Bruce, Brook Robert, Rajagopalan Sanjay

L'étude avait pour but de mieux comprendre comment la pollution atmosphérique affecte la santé humaine. Nous avons voulu vérifier si les produits chimiques dangereux qui atteignent les poumons provoquent une réaction en chaîne qui agit sur l'efficacité de l'irrigation du cœur par les artères cardiaques. Les cardiologues ont mis au point une technique dans laquelle on mesure le diamètre de l'artère du bras avant et après l'arrêt temporaire de la circulation sanguine. Dans notre étude, des volontaires ont subi ces mesures avant et après l'inhalation d'une combinaison de deux polluants, et avant et après l'inhalation d'air propre. Ni les volontaires, ni la personne chargée des mesures ne savaient ce qui était inhalé. Les polluants auxquels étaient exposés les volontaires étaient des particules fines et de l'ozone, et la quantité inhalée correspondait aux conditions qui règnent à Los Angeles un jour de smog. Il s'agit dans les deux cas de polluants atmosphériques courants, qui ont tous deux été associés, dans des études réalisées partout dans le monde, à des effets néfastes (hausse du taux d'hospitalisation et de mortalité, début de crise cardiaque).

Cette étude a été menée par une équipe pluridisciplinaire de l'Université de Toronto et de l'Hôpital St. Michael's en collaboration avec des chercheurs de l'Université du Michigan, de Santé Canada et d'Environnement Canada. D'avril 2000 à mars 2001, 25 volontaires en bonne santé ont été soumis aux tests, soit 15 hommes et 10 femmes, âgés de 18 à 50 ans, dont aucun ne fumait. Les mesures indiquent que l'inhalation du mélange de particules fines et d'ozone causait un rétrécissement, faible mais mesurable, de l'artère brachiale. L'ampleur de ce rétrécissement est trop faible pour être inquiétante chez une personne en bonne santé, mais pourrait accentuer les problèmes de santé chez une personne atteinte de troubles cardio-vasculaires. La réponse fournie par cette recherche correspond à d'autres résultats obtenus sur le plan de la chimie du sang, qui ont montré que l'exposition aux particules fines cause une augmentation de l'une des protéines qui interviennent dans l'expansion et la contraction des vaisseaux sanguins. Pour le moment, nos résultats sur le rétrécissement de l'artère ne s'accompagnent pas d'un changement mesurable dans la tension artérielle ni dans l'efficacité de fonctionnement de ce vaisseau sanguin. Il est toutefois nécessaire de poursuivre les recherches pour examiner en détail ces facteurs ainsi que d'autres. Si les résultats de cette étude sont suivis de travaux plus détaillés et que leur convergence avec d'autres études sur la santé se confirme, notre recherche pourrait aider les décideurs du Canada à formuler de nouvelles politiques sur la lutte contre la pollution atmosphérique en vue de protéger la santé publique.

Effets de la pollution atmosphérique sur les arythmies cardiaques

Sverre Vedal, Rick White, Michael Brauer, Charles Kerr, John Yeung, Jim Zidek, John Petkau
Départements de Médecine et de Statistique, Université de la Colombie-Britannique

Des études démographiques ont mis en évidence des associations entre de brèves hausses des concentrations de la pollution atmosphérique extérieure et des cas de maladies cardiaques, notamment des décès et des hospitalisations dus à ces maladies. L'un des mécanismes possibles de cette association est que l'exposition à la pollution atmosphérique accroît le risque d'apparition d'un rythme cardiaque anormal (arythmie cardiaque). Pour vérifier cette hypothèse, nous nous sommes servis de données sur les patients fréquentant les cliniques d'implantation de défibrillateurs internes à l'hôpital St. Paul's de Vancouver (C.-B.) pour voir si les hausses des concentrations de polluants atmosphériques étaient associées à une augmentation du risque d'arythmie cardiaque. Un défibrillateur interne est un dispositif qui est implanté chirurgicalement chez le patient et qui, dès que le rythme cardiaque accélère, produit une décharge électrique pour le ramener à un niveau normal. Le défibrillateur enregistre chaque occurrence de décharge électrique. On peut penser que ce groupe de patients sera très sensible à tout facteur pouvant entraîner l'arythmie, y compris peut-être la pollution atmosphérique.

Des données quotidiennes sur la pollution atmosphérique extérieure (particules respirables, ozone, anhydride sulfureux (SO2), dioxyde d'azote (NO2) et monoxyde de carbone) et sur la météo ont été rassemblées pour les années 1997-2000 dans le Grand Vancouver. Comme prévu, la pollution atmosphérique était relativement faible. Nous avons extrait des dossiers des cliniques la date de chaque décharge de défibrillateur pour chaque patient. Nous avons relevé 50 patients habitant le Grand Vancouver et qui ont eu au moins une décharge de défibrillateur pendant la période d'étude. Aucune association constante entre l'augmentation de la pollution atmosphérique et les décharges de défibrillateurs n'a été observée. L'analyse a alors été limitée aux 16 patients qui avaient des dossiers d'enregistrement d'au moins six mois et qui avaient connu au moins deux décharges par année, dans l'espoir de détecter une association parmi les patients qui fournissaient le plus d'information. Chez ces 16 patients, nous avons détecté une association entre la hausse de la concentration de SO2 et les décharges de défibrillateurs deux jours après la hausse du SO2. Aucune association n'a été notée avec les autres polluants. Étant donné qu'il existe des différences saisonnières parfois considérables dans la pollution atmosphérique, nous avons partagé l'analyse entre la saison d'été (mai - septembre) et la saison d'hiver (octobre - avril). Aucune association n'a été notée en été entre la hausse de la pollution atmosphérique et le risque d'action du défibrillateur, et on a même observé une association entre la hausse des concentrations de plusieurs polluants et une baisse du risque d'action du défibrillateur, constat diamétralement opposé à ce qu'on attendait. En hiver, de nouveau, la hausse des concentrations de SO2 était associée à une augmentation du risque d'action du défibrillateur deux et trois jours après les hausses de SO2, mais aucun effet des autres polluants n'a été observé.

Ces résultats ne prouvent pas vraiment que des concentrations relativement faibles de polluants atmosphériques extérieurs contribuent au risque d'arythmie cardiaque. Les résultats concernant le SO2 sont difficiles à interpréter. Ils sont peut-être le fruit du hasard. Par ailleurs, étant donné que les concentrations de SO2 étaient très faibles à Vancouver, si ces résultats sont valides, il est vraisemblable que le SO2 reflète l'action d'un autre facteur environnemental, et peut-être d'un autre polluant.

Toxicologie par inhalation des polluants atmosphériques : effets pulmonaires et cardio-vasculaires

Renaud Vincent[1], Premkumari Kumarathasan[1], Stephen Bjarnason[1], Ian Adamson[2], Henry Fliss[3], Irma Lemaire[3], Denis Nadeau[4]
[1]Santé Canada; [2]Université du Manitoba; [3]Université d'Ottawa; [4]Université Laval

Cette étude utilise des valeurs repères critiques d'effets pulmonaires et cardiaques, pouvant être liés à des facteurs pathobiologiques et pathophysiologiques, pour déterminer, dans des modèles animaux, les rapports dose-réponse correspondant à l'interaction entre l'ozone et les matières particulaires inhalés. Ces données serviront au développement d'un modèle toxicodynamique d'interaction des polluants qu'on testera ensuite pour déterminer les effets modulateurs du monoxyde de carbone et de l'oxyde nitrique. Les résultats seront utilisés pour créer des mélanges réalistes de ces polluants qu'on testera sur des modèles animaux afin de vérifier l'impact de la sensibilité biologique sur les profils dose-réponse.

Caractérisation des HAP et des AOV par la biogéochimie des isotopes C- et H-

Michael J. Whiticar (c.p.), Samantha L. Gray et Magnus K. Eek
Laboratoire de biogéochimie, École des sciences de la terre et de l'océan, Université de Victoria

Notre étude examine le caractère de certains composés organiques extraits des particules totales en suspension obtenues par filtration dans la vallée du bas Fraser (Colombie-Britannique) et aux alentours. Notre objectif à long terme est de repérer les variations spatiales et temporelles de la composition moléculaire et de la présence des isotopes stables de ces composés organiques en vue de comprendre leur origine ou les processus qui entrent en jeu sur le plan du transport et/ou de la chimie de l'atmosphère. Nous disposerons ainsi d'informations critiques qui nous aideront à évaluer le type et l'importance potentielle de l'exposition à laquelle sont soumis les humains dans un tel milieu urbain, ainsi que les risques sanitaires associés.

Des échantillons de particules en suspension dans l'air sont recueillis sur des filtres de fibre de quartz à cinq stations situées dans la vallée du bas Fraser et à deux stations situées en mer à l'aide d'échantillonneurs d'air à grand débit. Chacune des stations de la vallée a été échantillonnée chaque mois, de mars à août 2001. Les échantillons ont été apportés au laboratoire de biogéochimie de l'Université de Victoria, où ils ont été soumis à l'extraction et séparés en groupes de composés. Certaines classes de composés sont analysées à l'aide de deux techniques, la chromatographie en phase gazeuse/ spectrométrie de masse (GC/MS) et une autre méthode de pointe, la spectrométrie de masse des rapports isotopiques en continu (CF-IRMS). La GC/MS permet d'identifier chacun des composés et mesure leur concentration. La CF-IRMS détermine le rapport des isotopes stables de chacun des composés. Les isotopes sont utiles pour identifier les sources de la matière organique et les processus qui les extraient et les dispersent. Les isotopes du carbone (rapports de ^{13}C à ^{12}C) et de l'hydrogène (rapports de ^{2}H à ^{1}H) sont présents naturellement dans des proportions qui ont une valeur diagnostique. Par exemple, pendant la photosynthèse, un végétal va utiliser plus de ^{12}C que de ^{13}C, ce qui cause un enrichissement en ^{12}C par rapport à la source originale de carbone du CO_2. De même, à mesure que les composés organiques sont dégradés par des processus photochimiques dans l'air, le ^{12}C réagit plus rapidement que le ^{13}C, ce qui cause un enrichissement en ^{13}C. En conséquence, les changements dans le rapport isotopique (p. ex., $^{13}C/^{12}C$) permettent de détecter et de classer les sources des composés et les divers processus auxquels ils ont été soumis.

Nos résultats préliminaires, par exemple avec un certain groupe de composés (hydrocarbures n-alcanes), indiquent que la concentration d'un n-alcane varie selon l'endroit et la saison. La composition isotopique de ces n-alcanes a été analysée en détail, et d'autres classes de composés sont actuellement à l'étude. Il existe de nettes variations à valeur diagnostique dans le caractère isotopique des différents composés dans la vallée. Le caractère isotopique des n-alcanes présente des différences en ce sens que les n-alcanes supérieurs (ceux qui ont plus de 25 carbones) sont appauvris en ^{13}C, tandis que les n-alcanes inférieurs (moins de 25 carbones) sont enrichis en ^{13}C. Le phénomène est particulièrement évident pendant les mois d'été. Les n-alcanes impairs (C_{21}–C_{31}) sont enrichis en ^{13}C, tandis que les n-alcanes pairs (C_{20}–C_{30}) sont appauvris en ^{13}C. Cela indique une augmentation des apports de matière fraîche d'origine terrestre pendant les mois d'été, et la présence de matière plus dégradée pendant l'hiver. Notre approche innovatrice se révèle utile pour identifier les sources de ces composés organiques en suspension dans l'air. Pour mieux faire la différence entre les puits et les sources, nous

poursuivons nos travaux avec une analyse des isotopes d'hydrogène et une analyse globales des isotopes, et avec des analyses de quantification d'autres groupes de composés (ou classes de composés). En bout de ligne, cette information nous permettra d'estimer et de mieux évaluer les aspects sanitaires et les problèmes de mieux-être dans les bassins atmosphériques urbains.

Réponse inflammatoire du système respiratoire aux expositions à l'ozone chez les enfants et adolescents asthmatiques

Zimmerman B, Liu L, Vincent R, Kumarathasan P, Urch B, Tarlo S, Corey P, Silverman F

Il existe à l'évidence une association entre les variations quotidiennes de la pollution atmosphérique par l'ozone et les effets négatifs sur la santé. Les enfants semblent particulièrement vulnérables à la pollution atmosphérique parce que leurs voies respiratoires sont immatures, qu'ils passent plus de temps à l'extérieur, sont généralement plus actifs et ont un rythme respiratoire plus élevé que les adultes. On a signalé que l'inhalation d'ozone cause une inflammation des voies respiratoires. Des études récentes font ressortir que l'ozone peut intensifier l'inflammation existante causée par la réponse immuno-allergique.

Notre étude a duré un an. Elle visait à examiner l'association entre l'inhalation d'ozone et l'inflammation de l'appareil respiratoire. Les volontaires étaient des sujets en bonne santé, non fumeurs, âgés de 10 à 19 ans, souffrant d'asthme bénin. Pendant 2 h, dont 1 h d'exercice, ils ont inhalé de l'ozone à des concentrations semblables à celles d'une journée de smog à Los Angeles. Le principal objectif était d'étudier la réaction de 5 asthmatiques non traités chez qui on voulait déterminer si l'inhalation d'ozone accentuait l'inflammation préexistante des voies respiratoires (due à l'allergie à un animal domestique). Les réactions à l'ozone ont aussi été examinées chez 4 asthmatiques allergiques préalablement traités avec un médicament anti-inflammatoire pour l'asthme et chez 3 non-asthmatiques. À une autre occasion, pour le volet témoin, chaque volontaire a aussi inhalé de l'air propre.

Les résultats des explorations fonctionnelles respiratoires n'ont révélé aucune différence dans la réponse moyenne entre l'ozone et l'air propre, ni entre les asthmatiques (traités et non traités) et les non-asthmatiques. La diminution la plus forte du volume pulmonaire après l'inhalation d'ozone pendant 2 h a été observée chez un asthmatique non traité (baisse de 16 % par rapport au niveau de base).

Nous avons évalué l'inflammation cellulaire à l'aide d'un échantillon de liquide des voies aériennes. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux éosinophiles – cellules caractéristiques présentes dans les cas d'asthme et de réaction allergique. Après l'inhalation d'ozone, 4/5 des asthmatiques non traités présentaient une hausse des éosinophiles (augmentation moyenne : de 5 % avant l'exposition à 12 %), et même une hausse de 26 % chez un sujet. Vingt-quatre heures après l'inhalation d'ozone, le niveau des éosinophiles demeurait élevé (moyenne de 8 %) chez 2/4 des volontaires, et atteignait même 17 % chez un sujet. Après l'inhalation d'air propre, aucun changement n'a été noté. Les deux autres groupes n'ont manifesté aucun changement après l'inhalation d'ozone ou d'air propre.

Un cas était particulièrement intéressant : celui d'un asthmatique allergique non traité âgé de 15 ans (non inclus dans les résultats ci-dessus) qui présentait une hyperréactivité des voies respiratoires. Le niveau des éosinophiles dans ses voies respiratoires était de 29 %, ce qui est nettement plus élevé que le niveau normal (2 % ou moins) et que le niveau attendu chez des personnes souffrant d'asthme bénin (3-7 %), mais le sujet signalait rarement la présence de symptômes, sauf pendant l'exercice. Après 20 min d'inhalation d'ozone, dont 15 min d'exercice, son volume pulmonaire avait baissé de 50 %. L'administration d'ozone a été interrompue, et le sujet a reçu un médicament visant à contrer immédiatement la constriction des voies res-

piratoires induite par l'ozone. Toutefois, ses éosinophiles ont augmenté, passant de 29 % avant l'exposition à un pic de 49 % 24 h après l'exposition. Malgré le fait que le sujet ne reconnaissait pas ses graves symptômes d'asthme, les résultats de laboratoire ont indiqué un fort niveau d'asthme et une incapacité à faire de l'exercice si la concentration d'ozone correspond aux conditions d'une journée de smog à Los Angeles.

Dans cette étude sur les effets de l'inhalation d'ozone, nous avons montré qu'il y avait aggravation de l'inflammation dans les voies aériennes des enfants asthmatiques allergiques non traités. On n'a toutefois observé aucune aggravation de l'inflammation chez les asthmatiques allergiques traités au préalable avec un médicament anti-inflammatoire pour l'asthme, ni chez les non-asthmatiques. La poursuite de cette étude avec un groupe additionnel de volontaires devrait aider à définir un seuil de dangerosité de l'ozone pour une population vulnérable et encourager la formulation de politiques publiques visant à réduire la proportion d'ozone dans l'air.

Effets cumulatifs

L'étude des effets cumulatifs des substances toxiques portent sur la santé humaine et les écosystèmes se trouvant affectés par une exposition cumulative à des composantes chimiques, à des stresseurs et à des sources multiples. Aussi, la recherche se penche sur l'observation et la description d'impacts supplémentaires à divers stades temporels, spaciaux et biologiques. Depuis son lancement en 1998, l'Initiative de recherche sur les substances toxiques a alloué plus de 7.6 millions de dollars pour le financement de 23 projets de recherche ciblant le domaine des effets cumulatifs.

Pour les années financières 1999-2000 et 2000-20001, les candidats devaient accélérer la recherche nécessaire afin d'améliorer notre compréhension des effets cumulatifs des substances toxiques sur la santé humaine et les écosystèmes. Les candidats devaient aussi adresser tout autre question relative aux substances toxiques qui émergeait au cours de l'Initiative et qui adressait conjointement plus d'un des domaines prioritaires de recherche.

Pour l'année financière 1999-2000, les besoins prioritaires identifiés étaient :

- Développer des outils qui permettront de prévoir les effets cumulatifs de l'exposition aux mélanges de substances toxiques dans l'environnement;
- Améliorer notre capacité à surveiller la présence de POP, de métaux et de SPSE dans les tissus humains.
- Établir les effets des mélanges environnementaux de POP, de métaux et de SPSE sur l'écosystème et la santé humaine;
- Développer des techniques de biosurveillance et des modèles d'évaluation qui permettront de mesurer les impacts cumulatifs des substances toxiques sur l'écosystème et la santé humaine;
- Étudier les liens entre des indicateurs d'évaluation multiples afin d'établir les seuils critiques des effets cumulatifs sur l'écosystème et la santé humaine résultant de l'exposition aux mélanges de substances toxiques dans l'environnement;
- Élaborer des approches pour évaluer les effets cumulatifs de l'exposition aux mélanges de substances toxiques anthropiques et trouvées naturellement dans l'environnement;
- Évaluer les effets cumulatifs des éléments nutritifs, de la température, des actions réciproques se produisant dans l'oxygène dissout, et d'autres facteurs environnementaux vis-à-vis la suffisance des règlements et des lignes directrices relatifs à la protection contre l'exposition aux métaux, aux POP et aux SPSE prioritaires;
- Déterminer les mécanismes et les effets interactifs par lesquels les chargements d'éléments nutritifs masquent les effets des contaminants sources de stress pour l'environnement;
- Étudier l'influence des facteurs environnementaux subissant des influences anthropiques, comme le cycle hydrologique, sur l'exposition aux contaminants ainsi que leurs effets sur l'environnement et la santé humaine;
- Élaborer des approches analytiques ainsi que des modèles d'analyse qui permettront de retracer et de prévoir les effets stressants des contaminants multiples sur les toiles alimentaires et la santé humaine, et le sort que ces contaminants leur réservent;

- Décrire les effets additifs et croissants sur l'environnement des nombreuses sources de stress faisant suite aux développements à grande échelle comme l'exploitation des mines et des sables bitumineux; et

- Élaborer des approches, des techniques et des indices d'évaluation intégrés qui permettront de décrire les impacts que les mélanges de substances toxiques pourraient avoir sur les chaînes alimentaires à base de micro-organismes.

Pour l'année financière 2000-2001, les besoins prioritaires identifiés étaient :

- Élaborer des approches, des techniques et des indices d'évaluation intégrés qui permettront de décrire les impacts que les mélanges de substances toxiques pourraient avoir sur les chaînes alimentaires à base de micro-organismes.

- Élaborer des méthodes et des outils analytiques permettant de prévoir et d'évaluer les effets cumulatifs sur les écosystèmes et la santé humaine de l'exposition à des mélanges environnementaux de substances toxiques naturelles et anthropiques; et

- Repérer et caractériser les nouveaux problèmes relatifs à la recherche sur les substances toxiques.

Pour l'année financière 2001-2002:

Notez qu'aucun appel de proposition n'a été effectué pour l'année financière 2001-2002. Par conséquent, l'IRST n'a pas développé de besoins prioritaires pour cette période. Mentionnons, par contre, que plusieurs projets approuvés durant l'année financière 1999-2000 se poursuivront jusqu'au 31 mars 2002.

Évaluation des facteurs de risque liés à l'environnement dans les cas des cancers du sein, du côlon et des poumons à Sydney, Nouvelle-Écosse

Pierre Bond, Michel Camus, Ronald Dewar, Daniel Krewski

Pendant près d'un siècle, la ville de Sidney (N.-É.) a été contaminée par les émissions des fours à coke et des aciéries. Dans une étude antérieure, nous avons documenté une augmentation statistiquement significative de la mortalité par cancer du côlon et du sein dans la population de Sidney comparativement à la population résidant dans le comté de Cap-Breton à l'exclusion de Sydney. Le but de la présente recherche est de déterminer si des facteurs environnementaux sont liés au cancer du côlon, du sein et du poumon dans la population de Sydney; le cancer du poumon a été ajouté à la liste à cause de son association avec le travail dans les fours à coke.

Au moyen d'un questionnaire, nous avons demandé à des sujets atteints d'un cancer nouvellement diagnostiqué du côlon, du poumon ou du sein ainsi qu'à des sujets non atteints (témoins) de donner des informations détaillées sur leurs antécédents de consommation d'alcool et de tabac à la maison et au travail pendant toute la durée de leur vie. Nous avons également recueilli des renseignements sur plusieurs autres facteurs de risque de cancer, dont les antécédents familiaux, les antécédents génésiques (âge à l'apparition des premières règles, première grossesse menée à terme, ménopause) et le régime alimentaire. Ces données ont été analysées afin de déterminer, d'une part, si, une fois pris en considération les facteurs de risque connus et soupçonnés, le cancer du côlon, du poumon et du sein était significativement plus fréquent chez les sujets qui avaient déjà vécu à Sydney que chez les résidents du Cap-Breton qui n'y avaient jamais vécu, et, d'autre part, si cette augmentation était associée au nombre d'années vécues à Sydney. L'obtention de résultats positifs constituerait un puissant indice d'une association entre ces cancers et l'exposition à des substances cancérigènes présentes dans l'environnement.

Après avoir obtenu l'approbation des comités d'éthique de la recherche, nous avons mis sur pied une équipe de projet au Registre du cancer de la N.-É. et au Complexe de santé du Cap-Breton, et amorcé les procédures de sélection des sujets témoins. Un questionnaire détaillé a été élaboré et envoyé aux cas et aux témoins à partir du 1er janvier 2000. Au 31 juillet 2001, 153 cas de cancer du sein, 121 cas de cancer du côlon (68 hommes et 53 femmes), 158 cas de cancer du poumon (110 hommes et 48 femmes) et 860 témoins (326 hommes et 534 femmes) avaient été identifiés. Parmi ceux-ci, 79 cas de cancer du sein, 60 cas de cancer du côlon (35 hommes et 25 femmes), 45 cas de cancer du poumon (34 hommes et 11 femmes) et 537 témoins (197 hommes et 340 femmes) ont retourné le questionnaire.

Malgré cet effort, le total cumulatif des cas de cancer du poumon est resté bas, sans doute à cause de la courte survie des sujets. Le total cumulatif des cas de cancer du sein et du côlon et des témoins correspond par ailleurs à l'objectif visé. L'analyse statistique de ces données devrait débuter en janvier 2001.

Évaluation des risques présentés par la microcystine-LR dans l'eau potable : étude de l'oncogenèse hépatique chez le rat

Michel Charbonneau, Ph.D.
INRS-Institut Armand-Frappier, Université du Québec, 245 boulevard Hymus, Pointe-Claire (Québec), H9R 1G6

Les microcystines sont des toxines naturelles libérées par les algues bleues (cyanophycées). Ces dernières sont éliminées par le traitement de l'eau, mais leurs toxines, qui résistent aux méthodes de traitement habituelles, sont libérées dans l'eau potable. Santé Canada a proposé une concentration maximale acceptable (CMA) de 1,5 µg/l pour la microcystine-LR totale dans l'eau potable, compte tenu d'une dose journalière admissible (DJA) de 0,04 µg/kg de poids corporel. Cette dernière est la concentration à laquelle les êtres humains peuvent être exposés chaque jour de leur vie sans effet toxique. Cette concentration se fonde sur une valeur seuil (un NSENO de 40 µg/kg de poids corporel par jour) pour laquelle on n'a observé aucune lésion aiguë du foie dans une étude de 13 semaines sur des souris. On a observé une oncogenèse hépatique après avoir administré de la microcystine-LR par injections intrapéritonéales (IP) à des rats à des doses inférieures à la dose utilisée comme DJA. En témoignait le nombre accru de lésions précancéreuses (sites positifs pour la forme placentaire de la glutathion S-transférase [GST-P] dans le foie) observées après huit semaines d'administration IP de microcystine-LR à raison de 10 µg/kg de poids corporel, mais non à raison de 1 µg/kg de poids corporel (Nishiwaki-Matsushima et al., J. Cancer Res. Clin. Oncol., 118, 420-424, 1992). Ainsi, lorsqu'on tient compte de la voie d'exposition normale chez les humains, c.-à-d. la consommation d'eau potable contaminée, une question se pose : La microcystine-LR est-elle un agent oncogène après une exposition orale? On s'efforce également de trouver un événement cellulaire critique dans l'oncogenèse hépatique.

Les études d'oncogénicité ont été réalisées sur des rats au moyen d'un modèle basé d'abord sur l'injection IP d'un promoteur de la carcinogenèse, la diéthylnitrosamine (DEN), à raison de 200 mg/kg de poids corporel, suivie par un traitement avec le promoteur présumé, soit la microcystine-LR, de la semaine 2 à la semaine 8, et par une hépatectomie partielle à la semaine 3. L'oncogenèse hépatique a été évaluée en comparant le nombre et la superficie des sites positifs pour la GST-P dans le foie chez les rats traités à la microcystine et chez des rats témoins, c.-à-d. ceux qui n'avaient reçu que de la DEN. On s'est servi de rats plus âgés pour imiter l'âge adulte chez les humains étant donné que l'absorption orale de la microcystine-LR semble augmenter avec l'âge. L'activité promotrice de la microcystine-LR a été évaluée à plusieurs doses (0, 10, 40 et 80 µg/kg de poids corporel) administrées aux rats par gavage. On a relevé un nombre accru de sites GST-P après l'administration orale de 80 µg/kg, mais non après une dose de 40 µg/kg, soit la dose seuil utilisée pour obtenir la DJA; l'administration IP de 10 µg/kg a également entraîné une augmentation marquée du nombre de sites.

On observe une communication intercellulaire sensiblement moindre des jonctions lacunaires dans les sites positifs pour la GST-P. Dans la présente recherche, nous n'avons observé la formation d'adduit spécifique de la microcystine-LR que dans une seule protéine hépatique, dont le poids moléculaire est semblable à celui de la connexine 32, une protéine qui, lorsque sa concentration diminue, réduit la communication intercellulaire. Par conséquent, nous croyons que cet événement pourrait être une bonne mesure terminale pour éta-

blir une courbe dose-réponse visant à déterminer le niveau sans effet sur le foie. Il faudra faire d'autres recherches pour valider cette conclusion. Dans l'ensemble, ces travaux ont démontré l'existence d'une activité promotrice de la microcystine-LR à de faibles doses orales, et permettront d'évaluer de façon mécaniste le risque que présente ce composé dans l'eau potable.

Une approche à bio-indicateurs multiples pour évaluer le risque de cancer hépatique

Couillard, C.M.[1] (C.P.), W.J. Cretney[2], M.G. Ikonomou[2], G.G. Poirier[3], M. Lebeuf[1]
[1]Institut Maurice-Lamontagne, ministère des Pêches et des Océans, Mont-Joli (Québec); [2]Institut des sciences de la mer, ministère des Pêches et des Océans, Sidney (C.-B.); [3]Centre de recherche du CHUL, Québec (Québec).

Les tumeurs du foie chez les poissons sauvages peuvent servir à détecter dans l'environnement la présence de substances chimiques cancérigènes susceptibles de nuire à la santé de l'écosystème et des êtres humains. Au Canada, on observe des tumeurs du foie de cause inconnue chez les poissons marins des zones industrialisées et urbanisées des côtes atlantique et pacifique. L'association entre l'exposition à des contaminants environnementaux et le développement de tumeurs du foie chez les poissons sauvages exposés à des mélanges complexes de contaminants doit faire l'objet d'une étude.

Les tumeurs du foie chez les poissons ont souvent été associées à une exposition à des sédiments fortement contaminés par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), bien qu'il n'y ait pas toujours des concentrations élevées de HAP dans les endroits où l'on relève des tumeurs du foie. D'autres substances chimiques comme les composés chlorés persistants (PCB, dioxines, pesticides) peuvent aussi jouer un rôle important dans le développement de ces lésions. On étudie les mécanismes qui conduisent au cancer du foie chez les poulamons récoltés dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, de même que chez les soles anglaises prélevées le long de la côte de la Colombie-Britannique dans des endroits contaminés affichant diverses concentrations de HAP et de composés chlorés persistants. On mesure les concentrations de contaminants chimiques dans les tissus des poissons, parallèlement à une variété de réponses cellulaires détectées au moyen de méthodes biochimiques et histologiques. On associera ensuite les chaînes particulières d'événements cellulaires à l'exposition à des groupes particuliers de contaminants, puis on vérifiera de façon expérimentale les associations observées sur le terrain chez les poulamons exposés aux composés en question, comme le PCB126, congénère le plus toxique des PCB que l'on trouve dans les poissons de l'estuaire du Saint-Laurent.

Nous avons déjà obtenu de nouvelles données significatives. En effet, les réponses cellulaires observées chez les soles anglaises capturées dans le port de Vancouver sont typiques de celles observées chez les poissons exposés aux HAP, avec de fortes concentrations d'adduits d'ADN susceptibles d'entraîner une augmentation des taux de mutations et de cancers. Par contre, les poulamons prélevés dans l'estuaire du Saint-Laurent sont exposés à des concentrations relativement élevées de composés chlorés, mais à de faibles teneurs en HAP; les signes de toxicité hépatique observés chez eux ne sont pas typiques d'une exposition aux HAP. Les mécanismes conduisant au développement de tumeurs du foie diffèrent donc entre les poulamons de l'estuaire du Saint-Laurent et les soles anglaises du port de Vancouver.

Ce projet permettra d'obtenir de nouvelles informations sur le rôle des composés chlorés persistants dans le développement des tumeurs du foie chez les poissons. Ces tumeurs sont particulièrement préoccupantes parce qu'elles peuvent être transférées aux êtres humains qui consomment des organismes aquatiques. Les séries de bio-indicateurs mis au point dans le cadre de ce projet pourront être appliquées aux programmes internationaux de surveillance de la santé de l'environnement.

Élaboration d'approches alternatives pour la bioévaluation des effets cumulatifs

Chercheur principal :
Joseph M. Culp
INRE, Environnement Canada
Collaborateurs :
Kevin J. Cash
INRE, Environnement Canada
Monique G. Dubé
INRE, Environnement Canada
Nancy E. Glozier
INRE, Environnement Canada
Deborah L. MacLatchy
Univ. du Nouveau-Brunswick (SJ)

Dans le cadre de ce projet, nous mettons au point de nouveaux aquariums en rivière qui peuvent servir à la réalisation de bioessais sur le terrain en vue de déterminer les seuils critiques à partir desquels les effluents des usines de pâtes et des exploitations minières ont une incidence sur la biologie des cours d'eau. Ces aquariums permettent d'aborder l'évaluation des effets cumulatifs des effluents multiples sous un angle nouveau. Notre étude porte sur l'évaluation des effets cumulatifs des effluents complexes des usines de pâtes et des mines de métaux vu l'urgence de trouver de nouvelles méthodes économiques pour remplacer les évaluations de terrain standard des poissons et des insectes dans les cours d'eau. À l'heure actuelle, les évaluations standard ne permettent pas d'obtenir les informations sur les causes et les effets dont on aurait besoin pour comprendre la nature des risques potentiels posés par la pollution des effluents pour la faune et la flore lotiques. Nous faisons ici état des progrès de notre recherche, qui démontrent en quoi la nouvelle approche des bioessais en rivière peut servir à étudier les impacts des effluents sur les poissons, les insectes et les autres éléments de la chaîne trophique.

Ce projet comprend l'évaluation de divers modèles d'aquariums en rivière utilisés pour évaluer les effets cumulatifs sur les algues, les insectes, les poissons et les multiples niveaux de la chaîne trophique. Le travail effectué au cours de la 2e année du projet a consisté à évaluer un système amélioré d'aquarium en milieu lotique dans deux sites où se trouvent une usine de pâte et une mine de métaux au Nouveau-Brunswick. L'expérience sur l'effluent de l'usine de pâtes consistait à évaluer la constance des résultats obtenus dans l'aquarium entre les années 1 et 2, à vérifier de nouvelles mesures des effets de l'effluent et à examiner les effets de doses variables d'effluents sur les insectes et les poissons du cours d'eau. Les études menées à la mine de métaux ont permis de comparer les résultats des aquariums pour les chaînes trophiques des poissons et des algues-insectes afin d'étudier les différences dans les effets dans la chaîne alimentaire. Au cours de la 3e année, on se sert des aquariums en rivière pour évaluer les effets cumulatifs de l'effluent d'une mine de métaux sur des populations de poissons en Ontario, de même que les effets combinés des effluents d'égouts municipaux et d'une usine de pâtes sur des populations de poissons et les chaînes trophiques lotiques en Alberta. À ce jour, nos résultats indiquent que l'utilisation d'aquariums en rivière pour évaluer les effets cumulatifs donnent des résultats cohérents d'une année à l'autre au même site. Et, ce qui est encore plus important, les effets observés sont cohérents entre les différents niveaux de la chaîne alimentaire et entre les individus, les populations et les communautés biologiques. Cette nouvelle approche permet de mieux comprendre les mécanismes par lesquels les effluents industriels complexes influent sur la biologie des cours d'eau.

Effets tumorigènes sur la reproduction et le tissu mammaire d'une exposition néonatale aux contaminants du lait maternel

Daniel Desaulniers[1], Michel Charbonneau[2], Benjamin K Tsang[3]
Santé Canada, DTEP[1]. Université du Québec, INRS-Santé/IAF[2]. Université d'Ottawa, ILRS[3]

De nombreux contaminants environnementaux sont présents sous forme de mélanges complexes dans les tissus et le lait humain, notamment l'insecticide dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), de même que divers produits chimiques et sous-produits d'incinération industriels, comme des polychlorobiphényles (PCB), des dibenzodioxines (PCDD) et des dibenzofuranes (PCDF). Le DDT et les PCB sont les contaminants qui se retrouvent en plus grande quantité dans le lait maternel; les PCDD et les PCDF sont parfois désignés comme les contaminants les plus toxiques. C'est pendant la période néonatale (jusqu'à l'âge de six mois), en particulier pendant l'allaitement, que les êtres humains sont le plus exposés à ces substances chimiques. L'allaitement maternel n'en comporte pas moins de nets avantages pour la santé du nourrisson. On ignore toutefois si l'exposition à ces substances pendant la petite enfance peut avoir, à court ou à long terme, des effets indésirables pour la santé. Certains chercheurs ont avancé l'hypothèse qu'elle pourrait être liée à des troubles de nature génésique ou à une augmentation du risque de cancer du sein. Grâce au financement de l'IRST, nous avons pu vérifier ces hypothèses. Nous avons évalué les effets d'un mélange constitué de 19 PCB, de DDT et de DDE (le principal métabolite du DDT) (mélange 1) et d'un autre mélange constitué de 3 PCB, de 6 PCDD et de 7 PCDF (mélange 2). Ces deux mélanges ont été préparés en tenant compte des concentrations de chacune des substances chimiques présentes dans le lait maternel. Des groupes de bébés rats ont ensuite reçu des doses alimentaires équivalant à 1X, 10X, 100X ou 1000X la quantité de lait que consomment les bébés humains au cours des 24 premières journées de sa vie. Trois types d'expérience ont été réalisés. Dans le premier, il s'agissait de critiquer et d'améliorer l'essai biologique utérotrophique, l'un des essais de la batterie de tests pour les perturbateurs endocriniens en cours de validation par les organismes de réglementation. Le mélange 1 présentait des propriétés Éstrogéniques in vitro, mais n'a eu aucun effet utérotrophique in vivo. Testé avec l'œstrogène 17β-éthinylÉstradiol, le mélange 2, constitué de substances chimiques connues pour avoir des effets antiÉstrogéniques, n'a pas réussi à en atténuer l'effet utérotrophique. La sensibilité de la réponse utérotrophique est faible, ce qui nuit à sa capacité de détecter les perturbateurs endocriniens. Les expériences du deuxième type portaient sur les effets toxiques immédiats de ces mélanges. Les deux mélanges se sont avérés légèrement toxiques, ont augmenté, à des doses respectives de 100X et 1000X, l'activité des enzymes hépatiques de détoxication et le poids du foie. Cependant, leur toxicité diffère, le mélange 2 ayant réduit la thyroxine sérique, contrairement au mélange 1. Ces effets à court terme donnent à penser que le mélange 2 est plus toxique que le mélange 1, ce qui entre en contradiction avec les résultats à long terme d'un troisième type d'expériences, qui portaient sur les effets sur la reproduction et le risque de cancer du sein. Aucun des traitements n'a eu d'effet sur l'âge à la puberté, la cyclicité Éstrale et les populations folliculaires ovariennes. Le mélange 2 n'a eu aucun effet sur le développement de tumeurs mammaires, qui a par contre été affecté de deux façons par le mélange 1 à la dose 1000X. Ce mélange a en effet retardé le développement des tumeurs au départ, mais il avait augmenté le nombre de lésions mammaires à la fin de

l'expérience. Le développement du cancer est associé à un déséquilibre dans les mécanismes de la division et de la mort cellulaires. Les effets de ces mélanges sur ces mécanismes sont à l'étude. Dans toutes ces expériences, on n'a observé aucun effet à la concentration à laquelle sont exposés les bébés humains. Une approche progressive s'impose dans ces études si l'on veut prendre des décisions politiques judicieuses; ce genre d'approche nous a permis d'établir une distinction entre les effets du mélange 1 et ceux du mélange 2. Les effets de la combinaison des mélanges 1 et 2 restent à étudier.

Évaluation des répercussions cumulatives des mélanges chimiques dérivés de sables bitumineux sur les organismes aquatiques en Alberta

D. George Dixon, Andrea J. Farwell, Ralph E.H. Smith, Glen J. Van Der Kraak, Lucila E.J. Lee, Bruce M. Greenberg et Michael V. Power

Le bitume est un mélange d'hydrocarbures et d'autres matériaux extraits des dépôts de sables bitumineux du nord de l'Alberta qui ressemble à de la mélasse. Importante industrie de la région, l'exploitation des sables bitumineux et l'extraction du bitume répondent actuellement à près de 20 pour cent des besoins en hydrocarbures du Canada. Le rythme de production devrait augmenter à mesure que l'industrie élargira ses opérations et amorcera de nouveaux développements. L'extraction du bitume des sables bitumineux produit d'énormes volumes d'eaux de traitement contenant des concentrations élevées d'acides naphténiques, de sel et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques. Les organismes qui vivent dans les milieux aquatiques situés sur les gisements de sables bitumineux sont naturellement exposés à de faibles teneurs en acides naphténiques, en sel et en hydrocarbures aromatiques polycycliques, mais les activités d'extraction et les méthodes de recyclage pourraient accroître ces teneurs. Pour mieux comprendre et prévoir l'impact potentiel sur les milieux aquatiques des mélanges chimiques dérivés des sables bitumineux, il importe de savoir comment ces produits chimiques ou ces groupes de produits chimiques interagissent, et comment les différents organismes aquatiques y répondent. Les acides naphténiques extraits des sables bitumineux sont un mélange complexe d'acides carboxyliques saturés dont on connaît mal la composition chimique et les interactions avec les autres substances chimiques, en particulier la salinité.

Les effets des mélanges d'acides naphténiques et de la salinité ont été étudiés à la fois sur les plantes et les animaux aquatiques. Pour déterminer la nature et l'ampleur de l'influence du sel et de l'acide naphténique sur les communautés de phytoplancton, on a effectué des expériences en microcosme et des études de terrain comportant l'analyse des propriétés chimiques de l'eau et de la composition des communauté phytoplanctoniques de 30 plans d'eau du nord et du centre de l'Alberta. Les mesures terminales de la photosynthèse et de la respiration ont servi à déterminer les interactions entre les acides naphténiques et la salinité au niveau des plantes aquatiques supérieures (Lemna gibba). On a également fait des études de laboratoire et de terrain pour examiner les effets interactifs des acides naphténiques et de la salinité sur les poissons. On a examiné des lignées cellulaires de truites arc-en-ciel dérivées des branchies, du foie, de la rate et des gonades pour y déceler les défaillances de plusieurs fonctions cellulaires en fonction de diverses concentrations d'acides naphténiques et de sel et de divers points dans le temps. On a évalué les effets des acides naphténiques bruts au niveau cellulaire dans le but de mettre au point des bioessais économiques et rapides pour quantifier la toxicité des mélanges d'acides naphténiques et de préparer des études de détermination des fourchettes susceptibles d'être appliquées à des essais in vivo. On a fait des tests sur des larves de têtes-de-boule pour étudier les effets interactifs aux stades sensibles. On a utilisé de nombreuses mesures terminales, dont des marqueurs endocriniens, chez les cyprins dorés pour évaluer les mécanismes particuliers susceptibles d'altérer la reproduction. Les échantillonnages sur le terrain ont indiqué que l'on pouvait recueillir des données suffisantes sur les jeunes de l'année pour construire des modèles statistiquement

valides des effets des contaminants et de la température sur la croissance. La combinaison des mesures toxicologiques terminales examinés dans le cadre de cette étude permet d'obtenir les renseignements nécessaires pour évaluer les impacts cumulatifs des activités d'extraction des sables bitumineux sur les organismes aquatiques de façon à pouvoir prendre des mesures pour assurer la santé de ces organismes.

Exposition aux sous-produits de la chloration pendant la grossesse et mortinatalité

Linda Dodds, Will King, B. Anthony Armson, Alexander Allen

Le chlore est le produit le plus couramment utilisé pour désinfecter l'eau potable au Canada, et la chloration est une méthode économique pour prévenir la propagation des maladies d'origine hydrique. Il est cependant connu que le chlore réagit avec les matières organiques naturelles présentes dans les eaux superficielles (comme les eaux des lacs et des réservoirs) pour donner de nombreux sous-produits chimiques. Au Canada, seuls les trihalométhanes, les sous-produits les plus abondants dans l'eau potable chlorée, font l'objet de recommandations sur les niveaux maximums acceptables; les autres sous-produits les plus abondants, les acides acétiques halogénés, ne font l'objet d'aucune mesure systématique. La norme canadienne pour les concentrations de trihalométhane total a été fixée à 100 µg /l. Bien que l'on ait surtout mis l'accent sur les trihalométhanes jusqu'à présent, d'autres sous-produits pourraient constituer un danger pour la santé.

On sait que plusieurs sous-produits du chlore ont des propriétés mutagènes, et peut-être tératogènes. Dernièrement, les épidémiologistes ont commencé à se pencher sur le rôle de ces sous-produits (les trihalométhanes) dans les issues indésirables de grossesse, mais les résultats de leurs études sont contradictoires. Une étude antérieure réalisée en Nouvelle-Écosse a révélé que les femmes qui vivaient dans une région où les teneurs en trihalométhane dépassaient la norme canadienne (100 µg/l) couraient 70 % plus de risques d'avoir un enfant mort-né que les femmes vivant dans des régions où ces teneurs sont faibles. L'étude fait en outre état d'un risque particulièrement élevé de mortinaissance attribuable au décollement placentaire.

La présente étude cas-témoins vise à examiner plus en détail le rapport entre l'exposition aux sous-produits de chloration et la mortinatalité. Le groupe des cas est composé de toutes les femmes ayant accouché d'un enfant mort-né et le groupe témoin, d'un échantillon aléatoire de femmes ayant donné naissance à un enfant vivant, en Nouvelle-Écosse et dans l'Est de l'Ontario, entre le 1er mai 1999 et le 31 décembre 2001. Un second groupe témoin est composé de femmes ayant donné naissance à un enfant vivant et ayant fait l'objet d'un diagnostic de décollement placentaire. Environ six mois après l'accouchement, les sujets sont interviewés au sujet de leur consommation et de leur utilisation d'eau, du type d'eau auquel ils ont accès à la maison, et des autres expositions possiblement liées à la mortinatalité ou au décollement placentaire. Un échantillon d'eau prélevé au domicile est dosé pour les trihalométhanes et les acides haloacétiques.

Les méthodes de mesure des trihalométhanes et des acides haloacétiques ont été soumises à des tests d'assurance de la qualité et de validation dans le cadre d'essais interlaboratoires. On a évalué l'effet du temps de transport, des agents de préservation et de la température de l'air extérieur sur la concentration des sous-produits, et modifié les méthodes de collecte des données en conséquence.

Cette étude est l'une des premières études épidémiologiques à analyser les concentrations d'acides haloacétiques dans l'eau potable résidentielle en regard de l'issue de la grossesse. Elle permettra de recueillir des informations sur le rapport entre l'exposition à deux grands groupes de sous-produits de la chloration durant la grossesse, d'une part, et la mortinatalité et le décollement placentaire, d'autre part. Elle pourrait également donner des informations concernant les limites acceptables pour les concentrations de trihalométhanes et d'acides haloacétiques.

Évaluation des risques des mélanges complexes de HAP dérivés du pétrole pour le recrutement des poissons

P.V. Hodson (chercheur principal), R.S. Brown
Université Queen's
J. Parrott
Env. Canada; et
C.M. Couillard, K. Lee, R. Roy et M. Ikonomou
MPO

Le but de ce projet est d'améliorer l'évaluation des risques environnementaux des mélanges complexes d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) présents dans le pétrole brut, la créosote, le goudron et les sédiments contaminés au moyen de méthodes de terrain et de laboratoire qui permettent d'évaluer l'exposition et les effets cumulatifs à partir de la toxicité chronique de ces composés pour les stades de vie précoces du poisson, qui contribue à ralentir le recrutement.

Pour évaluer l'exposition aux HAP, nous avons mis au point des bioessais de sédiments capables de mesurer l'activité des enzymes OFM (oxygénases à fonction mixte) du foie chez des poissons exposés pendant 96 h. Ces enzymes stimulent l'activité après une exposition aux HAP et métabolisent les HAP en des formes susceptibles d'être plus facilement excrétées, mais parfois plus toxiques que les composés parents. Nous avons également eu recours à l'analyse chimique des HAP et de leurs métabolites dans les sédiments, la bile et les tissus des poissons pour caractériser l'exposition. Les sédiments prélevés sur le terrain ont été soumis à des bioessais en laboratoire pour déterminer l'exposition. Étant donné que les sédiments ont été perturbés et mélangés, ces tests représentent les « pires scénarios » de libération des HAP des sédiments due au dragage ou à d'autres activités perturbantes. Les essais sur le terrain comportent l'exposition, pendant 96 h, de poissons placés dans des cages suspendues dans la colonne d'eau ou en contact avec des sédiments contaminés. Ces tests, qui intègrent tous les facteurs influant sur l'exposition, notamment l'accumulation d'une couverture de sédiments propres sur les sites contaminés, mesurent les conséquences d'une gestion dite de « non-intervention » des sites contaminés.

Les méthodes d'analyse de la toxicité ont mis l'accent sur la toxicité larvaire et embryonnaire en posant comme hypothèse que ces stades biologiques seront les plus exposés et les plus sensibles pour les espèces de poisson qui pondent sur ou dans les sédiments. Nous avons adopté deux démarches fondamentales pour les tests en laboratoire; dans la première, on a disposé les sédiments en couches au fond d'un aquarium puis on a placé les œufs dessus; dans la seconde, on a mélangé du pétrole brut à un sédiment de référence propre pour modéliser les effets d'un déversement. Nous avons ainsi comparé les taux de survie, les pathologies (malformations, hémorragie, œdèmes), l'éclosion et la croissance des poissons exposés et non exposés, l'exposition allant du jour de la fécondation jusqu'au début de l'alimentation; la durée dépendait de l'espèce soumise aux tests. On met également au point des tests de toxicité sur le terrain, dans lesquels des œufs de poisson fécondés sont gardés dans des cages suspendues dans la colonne d'eau, déposés sur les sédiments ou enfouis dans les sédiments. On maintient les cages en place jusqu'à l'éclosion et au début de l'alimentation, puis on les retire de l'eau pour évaluer la fréquence des effets, tel que mentionné plus haut. L'exposition de ces larves est caractérisée par l'analyse de l'activité OFM et les concentrations de HAP dans les poissons testés, de même

que dans les sédiments provenant du même site.

Les espèces d'eau douce étudiées étaient la tête-de-boule, le meunier noir, la truite arc-en-ciel et le médaka; les espèces marines étaient le choquemort et l'épinoche à trois épines. Nous avons mis des méthodes au point en utilisant des sédiments provenant de sites contaminés naturellement ou par suite de rejets industriels (port de Hamilton, Cornwall et Barrie [Ontario]; port de Sydney [Nouvelle-Écosse], bitume de gisements de sables bitumineux [Alberta]) et les résultats d'études de terrain de 2 ans sur la biorestauration après des déversements d'hydrocarbures (Saint-Laurent, Sainte-Croix [Québec]; baie Petpeswick [Nouvelle-Écosse]). Les tests préliminaires effectués sur le médaka en cours de maturation sexuelle ont également indiqué qu'il fallait élaborer des tests pour déterminer les effets sur le système endocrinien et le développement (intersexualité, érosion des nageoires).

Dans l'ensemble, cette recherche a produit des méthodes pratiques permettant d'évaluer rapidement les risques que présentent pour les poissons une exposition à des mélanges complexes de HAP toxiques présents dans les sédiments. Ces méthodes se révéleront utiles pour les programmes de gestion de l'environnement.

Effets des contaminants organochlorés transférés par la mère sur le succès de reproduction du doré

Thomas Johnston[1], Scott Brown[2], Anne Kapuscinski[3], David Michael Whittle[4]
[1]Université Queen's; [2]Environnement Canada; [3]Université du Minnesota; [4]ministères des Pêches et des Océans

Cette étude applique des techniques développées récemment à l'étude des effets des composés organochlorés sur le succès de reproduction de dorés femelles chez une population de poissons contaminés. On y étudie aussi les effets de ces contaminants en association à d'autres facteurs naturels pouvant influer sur la qualité des oeufs et/ou sur la toxicité des contaminants (p. ex. la teneur en lipides ou en thiamine). Par l'examen des effets de certains des POP les plus toxiques dans l'écosystème naturel, ces recherches permettront d'obtenir les données nécessaires pour déterminer les risques pour l'état de l'écosystème dus à des POP d'intérêt prioritaire connus.

Dosage des chloroanilines dans le lait par microextraction en phase solide (SPME) et couplage chromatographie en phase gazeuse – spectrométrie de masse (CG-SM)

P. David Josephy, Perry A. Martos et Ping Li
Division des services de laboratoire et Département de chimie et de biochimie, Université de Guelph, Guelph (Ontario) Canada N1G 2W1

Les chloroanilines sont des composés aromatiques toxiques qui peuvent éventuellement contaminer le milieu. Parmi les sources possibles de chloroanilines dans l'environnement, mentionnons les rejets industriels, le métabolisme ou la biodégradation de certains pesticides et la chloration des précurseurs de l'aniline. Pour doser les chloroanilines, nous avons mis au point une méthode d'analyse basée sur la microextraction en phase solide (SPME) sur fibre de poly(acrylate) et sur le couplage chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse (CG-SM). Les analytes examinés étaient 2-chloroaniline, 4-chloroaniline, 2,4-dichloroaniline, 2,6-dichloroaniline, 3,5-dichloroaniline, 2,4,5-trichloroaniline, 3,4,5-trichloroaniline et 2,3,5,6-tétrachloroaniline. La méthode permet de doser de façon sensible les chloroanilines dans des matrices complexes et dans des liquides biologiques. Comme liquide biologique représentatif important sur le plan toxicologique, nous avons choisi le lait humain; nous n'avons relevé aucune contamination par les chloroanilines dans nos échantillons.

Évaluation de la pharmacocinétique et des effets cumulatifs sur la santé des mélanges de sous-produits de désinfection

Kannan Krishnan[1], Robert Tardif[1], Yan Zielinski[2], Steve Hrudey[3], Ken Froese[3]
[1]Université de Montréal, Montréal, [2]Santé Canada, Ottawa, [3]Université d'Alberta, Edmonton

Un certain nombre de substances chimiques se forment par suite de la désinfection de l'eau au chlore ou à l'ozone. Ces sous-produits de désinfection sont notamment le chloroforme, le bromodichlorométhane, le dibromochlorométhane, le bromoforme, l'acide trichloroacétique, l'acide dichloroacétique et l'acide monochloroacétique. Pour évaluer les risques que courent les personnes exposées à ces substances chimiques dans l'eau potable, on tient compte de la concentration individuelle de chacune de ces substances chimiques, mais non des interactions possibles entre elles. Pourtant, vu leurs propriétés et caractéristiques, ces substances peuvent interagir durant l'absorption, la distribution, le métabolisme et l'excrétion (c.-à-d. la pharmacocinétique). Ces interactions pharmacocinétiques potentielles des sous-produits de désinfection n'ont jamais été étudiées. En présence de telles interactions, le risque cumulatif associé à l'exposition des humains à ces sous-produits devrait être évalué au moyen d'une approche innovatrice capable de tenir compte non seulement des effets de chacune de ces substances, mais aussi de leurs effets interactifs. Les objectifs de ce projet sont : i) d'évaluer les interactions pharmacocinétiques entre les sous-produits de désinfection présents sous forme de mélanges et ii) d'évaluer les effets cumulatifs indésirables de ces mélanges en tenant compte des interactions des sous-produits. La méthodologie utilisée à cette fin comportait, d'une part, la tenue d'une série d'études expérimentales visant à établir l'occurrence et l'ampleur des interactions entre le chloroforme, le bromodichlorométhane, le dibromochlorométhane, le bromoforme, l'acide trichloroacétique, l'acide dichloroacétique et l'acide monochloroacétique, et, d'autre part, l'intégration des résultats obtenus dans des modèles pharmacocinétiques à base physiologique. D'après les résultats obtenus à ce jour, le chloroforme, le bromoforme, le bromodichlorométhane et le dibromochlorométhane interagiraient les uns avec les autres, entraînant une augmentation significative de leurs concentrations sanguines comparativement à leur administration séparée. Il est par ailleurs apparu que les acides trichloroacétique et dichloroacétique inhibaient le métabolisme du chloroforme, du dichlorobromométhane et du dibromochlorométhane, augmentant ainsi les concentrations sanguines de ces composés chez les animaux traités. Ces résultats ont été intégrés dans des modèles pharmacocinétiques à base physiologique afin de simuler les changements dans les doses internes des diverses substances chimiques durant des expositions mixtes de faible intensité. Dans les modèles mis au point pour cette étude, les animaux et les humains étaient décrits comme un ensemble de compartiments tissulaires interreliés par des flux sanguins. Les simulations par modèle des changements dans les doses internes ont servi de base à l'évaluation du risque cumulatif que présentent les mélanges de sous-produits de désinfection. Les résultats de cette évaluation seront validés au moyen d'une comparaison des observations faites chez des rats chroniquement exposés à des mélanges de sous-produits de désinfection et des données épidémiologiques humaines. Les études d'interaction et les méthodes de modélisation, parallèlement aux efforts de validation entrepris dans le cadre de ce projet, sont extrêmement importants pour produire de nouvelles connaissances et réaliser les percées scientifiques majeures qui permettront de mieux comprendre

et de mieux prédire les propriétés pharmacocinétiques des substances chimiques présentes dans l'environnement sous forme de mélanges, comme les sous-produits de désinfection dans l'eau potable. La méthode d'évaluation des risques mise au point pour la présente étude, qui ne rendra compte que des interactions, pourrait expliquer les différences entre les études toxicologiques et épidémiologiques et permettre d'élaborer, pour les sous-produits de désinfection, des politiques de protection de la santé fondées sur des études scientifiques sérieuses.

Effets de la consommation de poisson du Fleuve Saint-Laurent sur l'équilibre hormonal et le transfert du calcium durant la grossesse

Julie LAFOND et Donna MERGLER

La possibilité qu'une exposition peu intense aux polluants environnementaux persistants, comme les métaux et les composés organochlorés (polychlorobiphényles [PCB] et pesticides) qui pénètrent dans la chaîne trophique ait des effets subtils, mais nocifs sur la santé humaine et le développement des enfants, à cause de leur capacité de modifier les fonctions endocriniennes, suscite de plus en plus d'inquiétude. À cause des changements rapides qui surviennent pendant la grossesse et de l'activité intense qui a lieu dans le placenta, les changements hormonaux durant la grossesse et le transfert placentaire de calcium peuvent aider à mieux comprendre les effets des toxiques environnementaux que nous consommons normalement chaque jour dans nos aliments ainsi que la façon dont ces toxiques influent sur le futur développement des enfants. Un grand nombre d'études animales indiquent que les substances toxiques persistantes (STP) peuvent influer sur la sécrétion hormonale et le développement des petits, mais seules quelques études se sont penchées sur cette question dans les populations humaines. Bien que ces dernières études aient recueilli d'importantes informations sur le lien entre l'exposition in utero et le statut neurologique et hormonal des enfants, la plupart ont mis l'accent sur des agents particuliers et non sur les éventuels effets cumulatifs ou synergiques de ces substances qui, souvent, visent les mêmes organes. L'objectif de la présente recherche est d'étudier l'exposition aux polluants environnementaux persistants par l'alimentation et son effet sur la sécrétion hormonale et le transfert placentaire dans une population semirurale de femmes enceintes. Nous étudions actuellement un groupe de femmes enceintes. À la fin de l'étude, nous aurons recueilli des données sur 200 femmes enceintes. Ces femmes ont été et sont toujours recrutées au début de leur grossesse par l'entremise du Centre local de services communautaires et du service d'obstétrique de l'hôpital local. Nous examinons l'état hormonal (au 2e trimestre et à l'accouchement), le transport placentaire du calcium en fonction de la consommation de poisson, et les concentrations sanguines de métaux (mercure total, mercure et plomb [Pb] inorganiques et organiques) et de polluants plasmatiques organiques (Arochlore 1260, congénères des PCB, pesticides organochlorés, comme le DDT, 1,1'(2,2dichloroéthenylidène) bis[4chlorobenzène] (DDE) et le mirex). D'après les résultats préliminaires obtenus auprès de 115 femmes enceintes, nous pouvons avancer ce qui suit : 1) les poissons du Saint-Laurent ne sont pas la seule source d'exposition aux toxiques persistants; des poissons d'autres origines (poissons frais, en conserve ou congelés) contribuent également aux concentrations élevées de STP; 2) la concentration de plusieurs polluants organiques augmente considérablement entre le 1er et le 2e trimestre, mais pas celle des métaux; 3) la concentration de polluants organiques va jusqu'à quintupler selon l'âge de la mère (entre 15 et 37 ans); 4) au cours du 2e trimestre, la concentration de prolactine est supérieure d'environ 50 % chez les femmes qui affichent des concentrations de mercure organique élevées (2 µg/l); la différence augmente en fonction de la hausse des concentrations d'Arochlore 1260; 5) le transfert placentaire du calcium diminue d'environ 40 % chez les femmes qui affichent des concentrations sériques élevées d'Arochlore 1260 (>1,0 µg/l).

Ces résultats donnent à penser qu'il existe plusieurs sources alimentaires de substances toxiques persistantes, et que ces subs-

tances peuvent influer sur la sécrétion hormonale durant la grossesse ainsi que sur le transfert placentaire du calcium. Les différents polluants peuvent en outre avoir des effets cumulatifs ou synergiques. Les résultats de cette étude permettront de mieux comprendre le rapport entre, d'une part, une exposition environnementale peu intense aux substances toxiques ubiquistes et, d'autre part, les changements hormonaux et le transfert placentaire pendant la grossesse. Ces informations sont importantes pour les interventions préventives étant donné qu'une modification subtile de l'équilibre hormonal et du transfert du calcium peut avoir des effets nocifs sur le développement du fœtus et de l'enfant. Ces résultats aideront les organismes de réglementation à formuler des normes pour les aliments.

Interactions entre l'oxygène dissous et les substances nutritives et devenir des éléments toxiques dans les écosystèmes aquatiques à base microbienne

J.R. Lawrence, J.J. Germida, J.V. Headley, M. Chenier, R. Roy et C.W. Greer

L'Initiative de recherche sur les substances toxiques (IRST) a concentré ses efforts sur les impacts de divers polluants sur la santé des écosystèmes. Dans ce contexte, il est nécessaire de déterminer les effets combinés et interactifs des nombreux stress auxquels sont soumis les habitats aquatiques par suite des apports provenant de diverses sources. À titre d'exemples de ces stress, mentionnons les éléments nutritifs provenant des usines de pâte à papier et des égouts, les métaux provenant de l'extraction minière, les hydrocarbures provenant des exploitations pétrolières (sables bitumineux) et d'autres sources. Au nombre des effets que peuvent avoir ces apports d'éléments nutritifs et ces contaminants figurent des changements dans les concentrations d'oxygène dissous qui peuvent perturber encore plus l'environnement en s'additionnant ou en masquant leurs effets respectifs. Ce genre de recherche est nécessaire pour formuler des normes et des règlements valables portant sur les substances toxiques libérées dans l'environnement, et pour étayer ou revoir nos connaissances et règlements actuels.

Pour étudier ces questions, il est utile d'examiner les organismes qui se retrouvent partout en abondance, qui sont sédentaires, qui sont exposés à des stress et qui sont essentiels au fonctionnement de l'écosystème. Constituant plus de 50 % de la matière vivante, les bactéries sont peut-être le groupe d'organismes le plus diversifié sur la planète; elles jouent en outre un rôle clé dans les écosystèmes, notamment en décomposant et en recyclant toutes les formes du carbone, les nutriments et d'autres matières. Ce sont elles aussi qui décomposent les composés toxiques. Les microorganismes, notamment ceux qui se développent sous forme de biofilms sur des surfaces (biofilms = bactéries, algues et dépôts visqueux), se retrouvent partout dans les écosystèmes aquatiques et se fixent en des lieux précis. Comme tels, ils constituent d'excellents indicateurs des changements dans la diversité, la santé et le fonctionnement de l'écosystème. Les biofilms sont en outre une bonne source alimentaire pour les brouteurs, comme les insectes et les escargots, constituant un lien important dans les réseaux trophiques de l'écosystème.

Pour recueillir des informations sur la façon dont les nutriments, certains composés toxiques choisis et la concentration d'oxygène influent sur la croissance des biofilms bactériens dans les cours d'eau, nous avons eu recours à la microscopie confocale à balayage laser et à des analyses d'images, que nous avons combinées à des techniques de biologie moléculaire. Les expériences ont été réalisées au moyen de modèles simulant les conditions régnant dans les cours d'eau et permettant de contrôler les traitements de près. Les études ont révélé que les méthodes utilisées permettaient d'obtenir des données importantes sur le sort des composés toxiques dans les cours d'eau. Nous avons notamment découvert que la présence de nutriments influait beaucoup sur le sort des métaux et des contaminants organiques, comme les pesticides et les produits du pétrole. Par exemple, la présence de nutriments augmentait la sorption des contaminants dans les biofilms. Ces études confirment qu'il est important d'étudier les interactions entre les nutriments et les contaminants. On a également constaté que les réponses des commu-

nautés microbiennes dépendaient de la saison (été ou hiver) au cours de laquelle elles se développent. En été, les biofilms ont dégradé moins de 5 % d'un contaminant pétrolier alors qu'en hiver, ils en ont dégradé jusqu'à 70 %. Certains microorganismes qui accumulent notamment les métaux, comme le nickel, ou les contaminants organiques toxiques ont été identifiés dans les biofilms de cours d'eau. La présence de ces organismes accumulateurs est très importante pour le transfert des contaminants aux insectes et aux autres formes de vie aquatique qui se nourrissent des biofilms microbiens. La présence de nutriments et la composition de la communauté bactérienne ont donc un impact significatif sur le sort des toxiques dans les biofilms des cours d'eau, et peut servir d'indicateur de l'impact des activités humaines sur les écosystèmes naturels.

Effets sur l'environnement et mesures correctives liées aux contaminants dans le port de Sydney en Nouvelle-Écosse

Kenneth Lee (CP), Philip Yeats, John Smith, Brian Petrie, Tim Milligan, Jerry Payne
Pêches et Océans Canada
Kok-Leng Tay, William Ernst, Kenneth Doe
Environnement Canada
Charles Greer
Conseil national de recherches
Donald Mackay
Université de Trent

Quatre expéditions de recherche océanographiques ont été effectuées dans le cadre de ce projet afin de recueillir des échantillons de sédiments, d'eau et de biote en vue de déterminer les concentrations et la répartition des contaminants (contaminants métalliques – Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn, Mn, Hg – et organiques – HAP et PCB – dissous et particulaires) dans le port de Sydney, en Nouvelle-Écosse, l'un des sites de déchets toxiques les plus dangereux au Canada. Il est apparu que les concentrations de métaux dissous ne dépassaient pas les critères fixés dans les recommandations sur la qualité de l'eau de mer pour la protection de la vie aquatique. Par contre, on a souvent signalé des concentrations élevées pour les sédiments dans le bras Sud, les plus élevées ayant été relevées à l'embouchure du ruisseau Muggah, une source ponctuelle majeure d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans le port.

Les relevés historiques d'apports en contaminants dans le port de Sydney ont été établis au moyen d'analyses chimiques de carottes de sédiments datées. Les concentrations les plus élevées de HAP et de PCB ont été atteintes dans les années 1960 et 1970. Les dépôts sédimentaires récents sont moins contaminés. Ces résultats ainsi que ceux des études physiques et géologiques entreprises parallèlement dans le cadre de ce projet seront intégrés dans des modèles visant à déterminer l'impact des processus naturels sur la rétention des contaminants résiduels dans le port de Sydney.

L'un des objectifs du programme en cours est de quantifier le risque écologique et la biodisponibilité des contaminants présents dans les sédiments du port de Sydney. En plus de réaliser des analyses quantitatives des organismes benthiques de plus de 0,5 mm (macrofaune) dans des échantillons de sédiments, nous avons soumis les sédiments du port de Sydney à une batterie de bioessais. Les résultats obtenus serviront à identifier les principaux facteurs (tant naturels qu'anthropiques) qui influent sur la structure de la communauté benthique. Pour ce qui est du rétablissement naturel, les études ont également confirmé que les processus microbiens naturels influent sur la vitesse de biodégradation et de biotransformation des contaminants d'intérêt. Nous utilisons les liens entres les multiples indicateurs d'évaluation (analyses chimiques, données sur les effets biologiques et analyse de la structure de la communauté benthique) dans le cadre d'une approche du poids de la preuve pour classer les conditions environnementales régnant dans le port de Sydney et ses approches. Les données de ce projet seront comparées aux données historiques disponibles pour analyser les tendances; elles ont en outre été communiquées à d'autres organismes, comme Santé Canada, qui évaluent les impacts des contaminants industriels sur la santé humaine selon les régions.

Les études d'océanographie physique et géologique sont terminées dans le port de Sydney. Les données recueillies nous ont permis de mieux comprendre le rôle de la circulation dans la distribution des contaminants sur le fond et dans l'eau. Ces résultats ont été intégrés à un modèle de bilan massique établi avec les données chimiques et biologiques de ce programme de même qu'avec des données archivées. Les résultats du modèle fourniront les données scientifiques dont ont besoin les gestionnaires des ressources environnementales pour comparer les avantages des mesures correctrices proposées pour la région à ceux de l'atténuation naturelle (pas de traitement).

Distribution et effets des produits pharmaceutiques dans le milieu aquatique canadien

Chris D. Metcalfe
Études de l'environnement et des ressources, Université Trent

En Europe, on a détecté divers médicaments de prescription et en vente libre dans les effluents des stations d'épuration (SE) d'eaux usées ainsi que dans les cours d'eau situés à proximité des points de rejet de ces stations. L'exposition chronique aux médicaments rejetés par les SE pourrait modifier la physiologie, le comportement ou la capacité reproductrice des organismes aquatiques. Les principaux objectifs de ce projet d'une durée d'un an étaient de déterminer si l'on trouvait des médicaments de prescription et en vente libre dans le milieu aquatique au Canada, et si ces médicaments pouvaient avoir des effets biologiques chez les poissons. L'étude des effluents des SE de 14 villes canadiennes a ainsi permis d'y détecter la présence d'analgésiques et d'anti-inflammatoires de prescription (comme l'ibuprofène), de produits de décomposition de l'aspirine (acide salicylique) et de plusieurs autres médicaments de prescription, à raison de concentrations de l'ordre de plusieurs parties par milliard. Les concentrations de médicaments relevées dans les effluents des SE étaient généralement supérieures à celles observées en Europe, probablement parce que l'on traite moins à fond les eaux usées au Canada. Certains médicaments, comme l'anti-épileptique Carbamazépine, semble très résistant à la dégradation dans les SE. Des échantillons d'eaux superficielles ont été prélevés au cours de l'été et de l'automne 2000 dans des zones d'eau libre des lacs Ontario et Érié ainsi qu'en divers endroits situés à proximité des SE dans les villes de Windsor et de Burlington/Hamilton. Dans la rivière Little à Windsor, on a relevé de fortes concentrations de médicaments jusqu'à 600 mètres en aval de la SE. Comme l'effluent de cette station compte pour environ 50 % du débit total de la rivière, on s'attendait à de telles concentrations dans cette rivière. Dans des échantillons d'eaux superficielles prélevés à proximité de la SE du port de Hamilton et de celle Windsor-Ouest, qui déverse directement ses effluents dans la rivière Détroit, les concentrations de médicaments diminuaient rapidement dans les cent mètres suivant le point de déversement. Ces données indiquent donc que l'on ne détecte des médicaments qu'à proximité des points de déversement des SE, à moins que les effluents soient rejetés dans de petits cours d'eau. Divers instruments moléculaires et biochimiques ont été mis au point pour étudier les effets biologiques du Gemfibrozil et de la Carbamazépine sur le cyprin doré. Nous avons utilisé ce poisson modèle parce que l'on disposait pour cette espèce des outils de recherche biochimiques et moléculaires nécessaires. Chez les cyprins dorés exposés à l'anti-épileptique Carbamazépine, les concentrations sanguines d'hormones de croissance ont augmenté. Chez les cyprins dorés exposés au régulateur du cholestérol Gemfibrozil, les cellules du foie et des reins affichaient des traces de lésion et les sécrétions chimiques du cerveau étaient altérées. Ces données démontrent que les médicaments peuvent altérer l'équilibre hormonal et perturber la fonction cellulaire chez les poissons. Ces marqueurs moléculaires et biochimiques serviront maintenant à la surveillance des poissons sauvages des lacs et des cours d'eau touchés par les effluents des SE. Dans l'ensemble, cette étude a montré qu'il y a contamination de l'environnement par les médicaments de prescription et en vente libre au Canada, et que cette contamination risque de perturber les populations sauvages de poissons dans les secteurs situés à proximité des stations d'épuration.

URB-MAN : Outil d'évaluation des risques basé sur l'habitat pour la gestion de l'exposition aux produits chimiques toxiques dans les pêches urbaines

Charles Minns[1], Heather Morrison[2], Douglas Haffner[3], Christopher Marvin[4]
[1]Pêches et Océans Canada; [2]Great Lakes Institute for Environmental Research; [3]Université de Windsor; [4]Environnement Canada

Ces recherches contribueront au développement d'un outil d'évaluation des risques destiné à réduire l'exposition des humains aux produits chimiques toxiques tout en améliorant la productivité des pêches. Elles faciliteront la prévision des effets des activités anthropiques, et plus précisément des changements physiques dans l'habitat aquatique, sur l'exposition des poissons et des consommateurs de poissons aux produits chimiques toxiques. Le projet URB-MAN représente une approche unique pour l'évaluation des risques parce qu'il examine simultanément les effets des changements dans la structure physique de l'habitat sur la composition de la communauté des poissons, ainsi que sur l'abondance des poissons et sur l'exposition de ces poissons et des consommateurs de poissons aux contaminants.

Toxicité prénatale interactive et effets neurocomportementaux de l'exposition gestationnelle concomitante au méthylmercure et aux polychlorobiphényles

Marc-Edouard Mirault[1,3], François Y.Doré[1], Sonia Goulet[1] et Pierre Ayotte[2]

[1]Unité de santé et environnement et [2]Unité de santé publique, Centre de recherche du CHUQ-CHUL et Faculté de médecine, Université Laval; [3]Centre de recherche Robert-Giffard et Ecole de psychologie, Université Laval, Québec (Québec) Canada

Les peuples inuits sont fortement exposés au méthylmercure (MeHg) et à des mélanges complexes de composés organochlorés, dont les polychlorobiphényles (PCB), par le biais de la consommation de poissons et de fruits de mer. Plusieurs études animales portant sur l'un ou l'autre de ces agents neurotoxiques ont démontré qu'ils altéraient le développement du cerveau du fœtus et du nouveau-né. On n'en sait guère toutefois sur les interactions possibles de ces agents neurotoxiques administrés simultanément. Selon des données épidémiologiques récentes, une exposition au MeHg et aux PCB pendant le développement aurait des effets indépendants sur plusieurs mesures terminales neurocomportementales, les deux composés affectant apparemment des domaines fonctionnels différents (recensés dans Rice, Neurotox. 21, 1039-1044, 2000). Il faut toutefois garder à l'esprit que les interactions entre les substances toxiques d'origine alimentaire passent souvent inaperçues dans ce genre d'études à cause des intercorrélations entre les composés, qui ne permettent guère de distinguer les effets de chaque agent. D'après une étude récente sur les déficiences neurocomportementales associées aux PCB réalisée chez des enfants des îles Féroé âgés de 7 ans exposés avant leur naissance à des agents neurotoxiques présents dans les poissons et fruits de mer, les déficiences détectées dans le tertile supérieur de l'exposition au mercure pourraient mettre en cause une possible interaction entre le méthylmercure et les PCB (Grandjean et al., Neurotox. Teratol. 23, 305-317, 2001).

Dans la présente étude, nous avons utilisé des souris comme modèle expérimental pour évaluer les effets de l'exposition gestationnelle à un mélange de PCB caractéristique de l'Arctique, au MeHg ou à une combinaison des deux, sur le développement périnatal et l'état neurocomportemental des petits. L'administration concomitante de doses infratoxiques de PCB et de MeHg au cours du troisième quart de la gestation a considérablement accru la mortalité périnatale comparativement à l'administration séparée de chaque toxine. Les données sur la survie montrent que les PCB et le MeHg ont interagi de façon synergique et accru la mortalité à des doses qui n'influaient pas sur le gain de poids corporel entre la naissance et le sevrage chez les survivants. En revanche, les épreuves comportementales effectuées sur les petits survivants n'ont mis en évidence aucune synergie par suite de l'exposition concomitante aux deux agents neurotoxiques. Bien que la distance parcourue, la fréquence des redressements sur les pattes arrières, le temps passé dans le centre d'un champ ouvert, de même que la mémoire de référence dans le cadre d'une tâche d'alternance retardée dans un labyrinthe Poucet T aient été perturbés différemment par chaque agent neurotoxique, on n'a relevé aucune preuve d'effet interactif entre les PCB et le MeHg sur l'exploration et la mémoire. Cette étude donne à penser, pour la première fois, que le méthylmercure et les PCB pourraient interagir en synergie sur la létalité périnatale, mais non sur les déficiences neurocomportementales chez les petits survivants. L'interaction des deux agents dans le

développement du cerveau en période périnatale devra faire l'objet d'études plus poussées réalisées avec de plus faibles doses et utilisant des mesures terminales moléculaires et morphologiques en plus de batteries élargies de tests comportementaux. Selon ces premiers résultats, l'exposition simultanée des femmes enceintes à ces polluants pourrait accroître le risque de mortalité périnatale dans les populations fortement exposées, en plus de causer des déficiences neurocomportementales chez les enfants. Ce travail a été financé grâce à une subvention de recherche sur un an (no 286) de l'IRST.

Élaboration d'une stratégie d'analyse des effets cumulatifs pour la Rivière Saint-Jean

K.R. Munkittrick[1], M. Hewitt, A. Curry, R. Cunjak et G. Van Der Kraak
[1]Département de biologie, Université du Nouveau-Brunswick, Saint Jean (N. B.) E2L 4I5

Nous avons élaboré une stratégie d'évaluation des effets cumulatifs qui fait appel à la performance des poissons résidents pour mieux comprendre le niveau de stress imposé à un tronçon de cours d'eau. Dans cette étude, nous nous sommes penchés sur la performance du chabot visqueux, du meunier noir et de la perchaude dans le cours supérieur du bassin de la rivière Saint-Jean, afin d'élaborer une stratégie pour mieux comprendre le secteur d'eau douce du bassin hydrographique. Les données recueillies serviront à obtenir une idée de la performance dans le bassin et à prioriser les questions d'intérêt dans le bassin.

Au cours de la première année (1999), nous avons recueilli des données dans plus de 30 sites du cours supérieur de la rivière. Les chabots visqueux se sont avérés de bons indicateurs pour différencier les impacts de rejets étroitement apparentés dans la rivière Saint-Jean. Les pratiques agricoles ont été associées à une augmentation du taux de croissance des chabots et à une diminution de l'abondance des jeunes de l'année. Au cours de la deuxième année (2000), nous avons documenté la structure de la communauté de poissons dans toute la portion d'eau douce du bassin, et élargi la base de données sur les affluents. Au cours de la troisième année, on a examiné la performance des poissons dans 25 affluents du cours supérieur et amorcé des études détaillées dans les tronçons centraux de la rivière.

Les dernières analyses porteront sur la puissance relative des données sur les communautés de poissons et les communautés benthiques, des estimations de population et des évaluations de la performance des poissons en vue d'évaluer la santé du bassin. On étudiera les poissons résidents, l'adéquation de l'habitat ainsi que les communautés de poissons et d'invertébrés, afin d'établir un seuil de performance pour interpréter les autres études. Les secteurs estuariens et marins posent plus de problèmes, et des travaux préliminaires permettront éventuellement d'élargir le cadre d'étude aux secteurs situés en aval.

Nous avons comparé les différences relatives entre la performance des poissons dans les tronçons de la rivière afin de déterminer quelles sections devaient faire l'objet d'études de suivi en priorité. Par exemple, bien qu'en aval de l'usine de pâtes d'Edmundston les taux de croissance des poissons soient supérieurs de 50 % à ceux des sites témoins situés en amont, la taille des jeunes de l'année dans les secteurs de culture de la pomme de terre est supérieure de 600 % à celles des poissons des sites témoins situés en amont. Lors des premières discussions que nous avons eues au moment d'amorcer les études, on pensait que les facteurs de stress prioritaires seraient les usines de pâtes et les centrales hydro-électriques. Les comparaisons de la performance ont montré que ce sont plutôt les établissements de transformation des poulets dans le bassin supérieur, les zones de culture de la pomme de terre dans les affluents, et peut-être les petits rejets d'effluents dans les tronçons centraux de la rivière qui doivent faire l'objet d'une attention prioritaire. Ces sites ne figuraient pas parmi les sites prioritaires lors des discussions initiales.

L'évaluation des effets cumulatifs peut être rétrospective (description de la situation actuelle) ou prédictive. Les approches actuelles de l'évaluation des facteurs de stress multiples se fondent surtout sur les facteurs de stress, selon l'état de nos connaissances sur les interactions biologiques et les effets de ces facteurs. Nos études montrent que ces approches classiques laissent de côté tout un éventail de préoccupations et d'impacts. C'est

pourquoi nous mettons au point une approche fondée sur les effets, qui pourrait fournir un cadre commun pour l'évaluation des impacts environnementaux, l'évaluation des effets cumulatifs, la surveillance des effets environnementaux et le suivi.

Le projet a obtenu des fonds de plus de 20 petites subventions supplémentaires (<25K $) qui, comme telles, n'auraient pas été suffisantes pour réaliser un travail de terrain d'envergure. Nous avons en outre reçu l'aide non financière de plus de 25 partenaires dans le bassin même. Le financement de partenariat a totalisé plus de 800K $ en comptant et les 3.4M $ d'aide non financière.

Exposition aux organochlorés et impact endocrinien dans une communauté autochtone

E. Nieboer, L.J.S. Tsuji, J.S. Kesner, R. Vasquez, B.C. Wainman et J.-P. Weber

Université McMaster, Hamilton (Ontario), Université de Waterloo, Waterloo (Ontario), Centre de toxicologie du Québec, Sainte Foy (Québec) et National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, Ohio

La ligne Mid-Canada, l'un des réseaux de surveillance étendue exploités au Canada pendant la guerre froide, comprenait 98 stations radars réparties sur le 55e parallèle. Ces stations ont été fermées en 1965, et beaucoup ont été abandonnées, avec leur équipement électrique contenant des liquides chargés de PCB et leurs sols contaminés par les pesticides organochlorés (notamment du DDT). Citons en exemple la station de l'île Anderson, près de la communauté de la Première Nation crie de Fort Albany. Dans ce contexte, notre projet de recherche avait deux objectifs. Premièrement, nous voulions évaluer l'exposition des habitants de Fort Albany aux PCB et au DDT en mesurant les concentrations de ces deux contaminants dans des échantillons de sang (plasma). À cette fin, nous avons utilisé deux groupes témoins, l'un dans la communauté voisine de la Première Nation crie de Kashechewan et l'autre à Hamilton, en Ontario, au Canada. Dans les deux communautés autochtones, on a prélevé des échantillons de sang chez 50 sujets adultes de sexe masculin et chez autant de sujets de sexe féminin; à Hamilton, on en a prélevé chez 25 adultes de chaque sexe. Chez les hommes comme chez les femmes, il est apparu clairement que les concentrations augmentaient dans l'ordre suivant : Hamilton, Kashechewan, Fort Albany. Il est intéressant de noter qu'à Fort Albany, les résultats pour le DDT se situaient à l'extrémité supérieure de la fourchette des moyennes géométriques observées chez les Inuits de l'Extrême-Arctique, tandis que les valeurs relevées pour les PCB se situaient à l'extrémité inférieure de la fourchette des concentrations observées pour les groupes inuits en question. Ces données indiquent nettement qu'il existe une source ponctuelle de ces contaminants dans la communauté de Fort Albany. Il faut mentionner que nous avons prélevé nos échantillons avant le nettoyage des sols de l'île Anderson.

Le deuxième volet de notre projet de recherche consistait en une étude pilote de l'impact possible des organochlorés sur les mesures terminales endocriniennes du cycle menstruel. Neuf volontaires ont donné 42 échantillons d'urine quotidiens consécutifs tout en notant dans un journal les détails de leur cycle menstruel. Les échantillons d'urine ont fait l'objet d'un dosage des hormones (ou des métabolites) intervenant dans la régulation du cycle menstruel, soit l'œstrogène, la progestérone, l'hormone folliculostimulante (FSH) et l'hormone lutéinisante (LH). Comme dans le premier volet, l'exposition aux PCB et au DDT a été évaluée à partir de la concentration de ces contaminants dans le plasma sanguin. De nombreuses mesures terminales endocriniennes du cycle menstruel portant sur les hormones en question ont été élaborées pour les phases folliculaire et lutéale du cycle menstruel (comme le moment où survient une augmentation subite de la concentration par rapport à l'ovulation). Ces mesures terminales endocriniennes ont été corrélées aux concentrations plasmatiques des organochlorés en question. Plusieurs associations statistiquement significatives ont pu être observées, de même qu'un nombre élevé de relations quasi-significatives. La nature des associations évoque une répression de l'œstrogène circulant qui augmente les concentrations de FSH et de LH. Il va de soi qu'il faudra confirmer ces résultats avant de pouvoir faire une quelconque interprétation des causes et des effets (c.-à-d. accroître la taille de l'échantillon, faire des ajustements selon l'âge, tenir compte de l'allaitement maternel, etc.). Néanmoins, les mesures terminales endocriniennes du cycle menstruel s'avèrent prometteuses à titre de biomarqueurs non invasifs et sensibles de l'impact sur la fertilité des expositions à de faibles concentrations d'organochlorés.

Détermination des effets des contaminants environnementaux sur les mutations de séquences d'ADN répétées chez la souris

Craig L. Parlett, Paul A. White, Carole Yauk, Christopher Somers, James Quinn

Les génomes des animaux contiennent de nombreuses régions d'ADN répétitif qui font l'objet de nombreuses mutations lors du passage d'une génération à la suivante. Cette grande variabilité augmente énormément la probabilité d'observer des mutations induites lorsqu'on étudie les effets des contaminants environnementaux sur les cellules germinales (ovules et sperme). Des études antérieures (Yauk, Quinn) sur les Goélands argentés des Grands Lacs ont mis en évidence une augmentation significative de la vitesse à laquelle survenaient des motifs répétitifs mutants chez les descendants des populations exposées aux concentrations élevées de polluants industriels observées à proximité des aciéries. Ce genre de mutations a été associé à des maladies humaines, dont l'épilepsie, le diabète et le cancer. Un des objectifs de la présente étude était de déterminer l'effet des concentrations actuelles de contaminants environnementaux sur le taux de mutations héréditaires de l'ADN répétitif chez des souris de laboratoire, animaux très souvent utilisés comme modèles pour mesurer les effets des contaminants sur la santé humaine. On a exposé pendant 10 semaines des souris mâles et femelles en cage à l'air ambiant, dans un endroit situé juste à côté d'une zone industrielle où se trouvent deux aciéries, puis on les a accouplées. La première expérience a montré que la fréquence des séquences d'ADN répétées mutantes avait doublé de façon significative chez les petits des souris exposées à l'air ambiant à proximité des aciéries, comparativement aux petits de souris gardées dans un endroit où l'air était propre. L'analyse des données d'une deuxième expérience est en cours.

On observe également une variation des séquences d'ADN répétées pendant les divisions cellulaires dans les cellules non germinales de l'organisme, ce qui permet d'étudier plus facilement l'influence des agents chimiques que dans le cadre d'expériences d'accouplement d'animaux plus longues. Dans la deuxième partie de cette étude, on utilise des cellules tissulaires cultivées en laboratoire pour déterminer si un contaminant environnemental quelconque peut provoquer des mutations préférentielles dans des séquences d'ADN répétées. Les essais de laboratoire classiques utilisés le plus souvent par les gouvernements pour évaluer les risques génétiques aux fins de la réglementation ne recherchent pas spécifiquement les mutations dans les séquences répétées d'ADN. Cette omission pourrait faire en sorte que les risques pour la santé (comme le cancer) que présentent certains agents chimiques passent inaperçus. Pour comparer les mutations induites dans des séquences d'ADN répétées avec les réponses obtenues dans le cadre d'essais toxicologiques génétiques classiques, nous avons commencé par produire et par caractériser deux lignées de cellules épithéliales (l'une provenant de poumons de souris et l'autre de tissu buccal de rats) possédant dans leurs génomes un gène cible facilement détectable d'ADN non répétitif. À ce jour, les résultats indiquent que le benzo[a]pyrène, une substance chimique que l'on retrouve souvent dans les émissions des aciéries, provoque des lésions chromosomiques et est mutagène dans les séquences d'ADN répétées comme dans les séquences non répétées. Ces résultats tranchent avec ceux de la mitomycine C, qui provoque des lésions chromosomiques et est mutagène dans le gène cible non répétitif, mais ne l'est pas dans la séquence d'ADN répétée choisie pour l'étude. D'autres études de substances chimiques peu susceptibles de léser directement l'ADN ou les chromosomes sont en

cours. Nous prévoyons trouver des agents chimiques qui n'ont guère d'effet sur les régions d'ADN non répétitif ou les structures chromosomiques, mais dont on peut montrer qu'ils sont capables de provoquer des changements dans les régions d'ADN répétitif. Il pourrait s'avérer nécessaire de tenir compte des essais de détection des mutations de l'ADN répétitif dans les futures évaluations réglementaires des agents environnementaux.

Toxicologique associé à l'utilisation de l'éthanol dans l'essence automobile

Robert Tardif
Departement de santé environnementale et santé au travail, Universite de Montreal, et
Michel Charbonneau
INRS- Institut Armand Frappier, Universite du Québec

Les gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement de la planète proviennent en bonne partie du secteur des transports et de la combustion de l'essence utilisée dans les véhicules à moteur. Plusieurs avenues ont été proposées afin de réduire ces émissions. L'une d'entre elles consiste à ajouter à l'essence une certaine quantité d'éthanol, l'alcool que l'on retrouve dans les boissons alcoolisées. En effet, il a été démontré que l'addition de produits oxygénés, comme l'éthanol, améliore la combustion de l'essence et réduit du même coup les émissions de divers polluants comme le monoxyde de carbone et la formaldéhyde. En revanche, l'on sait que l'addition d'éthanol conduit à une production plus importante de certains polluants dont l'acétaldéhyde, une substance irritante et très toxique. L'acétaldéhyde qui provient également de la transformation de l'éthanol par les enzymes de l'organisme est à son tour dégradé en produits inoffensifs. Ainsi, lorsqu'un individu consomme des boissons alcoolisées ou inhale des vapeurs d'éthanol, une certaine quantité d'acétaldéhyde est produite chez cet individu. Bien que la toxicité de l'éthanol, autant que de l'acétaldéhyde, chez l'humain soit reconnue, l'on possède, en revanche, très peu d'information sur les conséquences de l'inhalation de vapeurs d'éthanol ou d'acétaldéhyde sur les niveaux sanguins produits, ni sur les effets d'une telle exposition sur la santé humaine.

Il est prévisible que l'utilisation d'essences à moteur contenant des proportions variables d'éthanol se traduira par une augmentation de l'exposition de la population à l'éthanol ainsi qu'à l'acétaldéhyde. Ce projet vise à jeter les bases d'un programme de recherche dont l'objectif principal est de fournir des outils qui aideront les gestionnaires de Santé Canada à prédire les niveaux biologiques d'éthanol et d'acétaldéhyde et le risque de toxicité résultant de l'exposition à des vapeurs d'éthanol et d'acétaldéhyde chez la population générale, et en particulier chez des individus qui pourraient s'avérer particulièrement sensibles. En effet, certains individus possèdent un trait génétique qui s'accompagne d'une déficience enzymatique, à savoir au niveau du système d'élimination appelé aldéhyde déshydrogénase, qui réduit leur capacité à dégrader l'acétaldéhyde issue de l'éthanol, ce qui les expose à des niveaux élevés d'acétaldéhyde et aux effets toxiques de cette substance.

Nos travaux de recherche en laboratoire ont permis de 1) caractériser le comportement de l'éthanol chez un modèle animal, le rat de laboratoire, exposé par inhalation à diverses concentrations d'éthanol, 2) de montrer que l'exposition à l'éthanol pouvait affecter le tissu pulmonaire, et 3) de développer une technique qui facilitera l'étude de l'impact de la déficience enzymatique évoquée plus haut sur le risque toxique associé à l'exposition à l'éthanol et l'acétaldéhyde par la voie pulmonaire chez les populations sensibles. Des recherches futures devraient permettre de parfaire nos connaissances relativement aux risques d'effets sur la santé pouvant résulter de l'utilisation accrue d'éthanol dans l'essence à moteur.

La relation entre les pratiques de récolte traditionnelles innu, les contaminants environnementaux et la santé et l'exposition de la faune et des humains

Richard Tasker[1], Neil Burgess[2], Larry Innes[3]
[1]Université de l'Île-du-Prince-Édouard; [2]Environnement Canada; [3]Nation Innu

Cette étude vise à établir si, pour des animaux capturés par des Innus du sud du Labrador, il existe un rapport entre des indicateurs bruts de la santé des individus et leurs teneurs en contaminants, ainsi qu'à déterminer les teneurs d'exposition humaine dues à la consommation de nourritures traditionnelles par les Innus.

Effets du rayonnement alpha du polonium-210 sur les humains et les animaux

Bliss Tracy, Diana Wilkinson et Barry Ford
(Santé Canada);
Mark Wickstrom, Linda Hiebert et Patricia Thomas
(Université de Saskatchewan)

L'exposition au rayonnement alpha du polonium-210 (Po-210) ingéré est l'une des principales sources d'exposition aux rayonnements chez le caribou, de même que dans les populations humaines du Nord qui, pour une large part, dépendent de cet animal pour leurs approvisionnements en viande. Radionucléide naturel issu de la dégradation du radon dans l'air, le Po-210 se dépose graduellement sur les lichens à croissance lente dont se nourrit principalement le caribou durant les longs hivers arctiques. Nous possédons aujourd'hui des données sérieuses sur les concentrations de Po-210 dans la viande et les organes des caribous, sur les portions consommées par les résidents du Nord et sur le sort du polonium après son ingestion dans l'organisme humain. Nous ignorons cependant toujours si les concentrations actuelles de Po-210 ont des effets sur la santé ou provoquent des changements biologiques chez les humains et les animaux du Nord canadien.

Dans le cadre de ce projet multidisciplinaire, des scientifiques de l'Université de Saskatchewan ont irradié des cellules aortiques cultivées de vaches avec des rayons X et des particules alpha provenant du Po-210. On a choisi ces cellules parce qu'elles sont faciles à prélever, se développent facilement dans un milieu de culture et constituent un bon substitut pour étudier les effets sur le caribou sauvage. Nous avons pu ainsi constater que le rayonnement alpha du Po-210 est dix fois plus efficace que le rayonnement X pour tuer les cellules aortiques et les empêcher de se reproduire. Les cellules qui tapissent l'aorte et les autres vaisseaux sanguins ne sont pas particulièrement sensibles à l'induction du cancer. Toutefois, des données recueillies récemment chez des survivants de la bombe atomique et des secouristes ayant travaillé à Tchernobyl indiquent que le rayonnement peut provoquer des maladies cardiovasculaires. Les résultats de cette étude devraient aider à établir un tel lien.

Les expériences sur les lymphocytes (un type de leucocytes) de vache sont maintenant presque terminées. Il est apparu que, lorsqu'elles sont endommagées, ces cellules sensibles au rayonnement peuvent perturber la réponse du système immunitaire. La prochaine étape consistera à prélever des échantillons de sang sur des caribous, et à évaluer la sensibilité de leurs lymphocytes au rayonnement.

Pour mesurer les aberrations et les anomalies chromosomiques qui pourraient être causées par les rayonnements dans les cellules sanguines humaines, les scientifiques de Santé Canada ont recours aux techniques les plus récentes. Au début de l'hiver, des échantillons de sang seront prélevés chez les membres d'une communauté du Nord grande consommatrice de viande de caribou. Nous tenterons d'abord de déterminer si leurs cellules sont lésées par les expositions courantes aux rayonnements dans l'environnement, puis nous bombarderons ces cellules avec des rayonnements artificiels afin d'établir si elles sont plus ou moins sensibles aux lésions causées par les rayonnements que les cellules sanguines prélevées chez des sujets qui ne mangent pas de viande de caribou. Les résultats de l'étude devraient aider à déterminer s'il faut fixer des normes plus strictes pour protéger les résidents du Nord contre les rayonnements. Ils aideront également à déterminer si l'exposition à un mélange de substances toxiques présentes dans leur milieu a un impact sur les habitants du Nord – que ces substances proviennent des exploitations minières locales ou du transport à grande distance des polluants atmosphériques industriels du Sud.

Fonction immunitaire et réponse au stress en relation avec l'exposition aux éléments traces chez les canards de mer sauvages de l'Arctique

Wayland, Mark et Smits, Judit

Il apparaît de plus en plus nettement que les populations de canards de mer déclinent dans l'Arctique. Certains ont avancé que les contaminants, notamment les métaux, seraient l'un des facteurs de stress environnementaux qui contribuent à ce déclin.

Dans certaines communautés de l'Arctique canadien, le canard de mer est un important aliment traditionnel. Le déclin des populations pourrait donc avoir un impact sur la récolte de ces oiseaux. Les fortes concentrations de contaminants pourraient en outre nuire à la qualité perçue du canard de mer comme aliment traditionnel.

À cause des inquiétudes suscitées par les effets subléthaux des contaminants sur les canards de mer, nous avons étudié les relations entre les concentrations de métaux et certains indicateurs de la santé et de la condition physique chez une espèce représentative des canards de mer, l'Eider à duvet. Plus précisément, nous avons examiné les rapports entre, d'une part, les concentrations de mercure, de cadmium et de sélénium dans les tissus et, d'autre part, l'intégrité du système immunitaire, la réponse hormonale au stress, les concentrations de vitamine A dans le plasma et le foie et l'état corporel général des animaux.

L'étude a été réalisée dans le Refuge d'oiseaux migrateurs de la baie Est, dans l'île Southampton, au Nunavut.

Dans l'ensemble, nous n'avons relevé aucune donnée probante que les concentrations tissulaires de métaux nuisaient à la santé et à la condition physique de ces oiseaux. Il est peu probable que les métaux contribuent aux déclins des populations en affaiblissant la résistance des oiseaux à d'autres types de facteurs de stress environnementaux. Il faudra néanmoins faire d'autres études pour déterminer si la relation inverse que nous avons observée entre l'état corporel et les concentrations de mercure résultait d'une relation de cause à effet.

Santé Canada a terminé dernièrement une évaluation de la santé humaine en rapport avec les concentrations de métaux traces présentes dans le foie et les reins des canards de mer dans l'Arctique. Les résultats de cette évaluation ont été communiqués aux Comités sur les contaminants du Nunavut et des T.N.-O. en vue de leur diffusion dans les communautés.